



LISBOA

UNIVERSIDADE  
DE LISBOA



**FACULDADE DE ARQUITETURA**  
UNIVERSIDADE DE LISBOA

## **Ferramentas de análise de grau de sustentabilidade no ambiente construído**

Avaliação de materiais de construção no ato do projeto de arquitetura.

Doutoramento em Arquitetura

Teoria e Prática do Projeto

Doutorando: Sílvia de Lima Vasconcelos

Orientador: Doutor Carlos Alberto de Assunção Alho,  
Professor Auxiliar, Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa,  
Coorientador;

Co-orientadora: Doutor Ing. Håbil. Birgit Müller,  
Professora da Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Orientadora;

Presidente: Doutor Luís Filipe Ferreira Afonso,  
Professor Associado, Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa;

Vogais: Doutor Ing. Håbil. Birgit Müller,  
Professora da Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Co-orientadora;

Doutor Jorge Novais Telles Faria Corrêa Bastos,  
Professor Catedrático, Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa;

Doctor of Philosophy José Justino de Matos Barros Gomes,  
Professor Associado, Universidade Lusíada de Lisboa;

Doutor Manuel de Arriaga Brito Correia Guedes,  
Professor Associado, Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa;

Doutor Carlos Alberto de Assunção Alho,  
Professor Auxiliar, Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa,  
Orientador;

Doutor Hélder Perdigão Gonçalves,  
Investigador Coordenador, Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

Tese especialmente elaborada para a obtenção do grau de doutor

Documento definitivo

Março, 2014



<b>Título</b>	Ferramentas de análise de grau de sustentabilidade no ambiente construído
<b>Subtítulo</b>	Avaliação de materiais de construção no ato do projeto de arquitetura.
<b>Nome</b>	Sílvia de Lima Vasconcelos
<b>Doutoramento</b>	em Arquitetura
<b>Orientador</b>	Ph. Doctor Arquiteto Carlos Alberto Assunção Alho (Portugal)
<b>Coorientadora</b>	Prof. Dr.-Ing. habil. Birgit Müller (Germany)

## RESUMO

O foco desta investigação incide sobre ferramentas de avaliação de grau de sustentabilidade no ambiente construído, sendo a Sustentabilidade um conceito cada vez mais presente na sociedade contemporânea, e, concomitantemente, na arquitetura e nos seus criadores. Não obstante a utilização de estratégias bioclimáticas e de eficiência energética, o corpo arquitetónico e os seus materiais causam um elevado impacto no que concerne ao ambiente, ao conforto humano e às questões económicas. Esta investigação incidirá sobre as ferramentas existentes, as quais facultam tomadas de decisões fundamentadas no ato do projeto.

Em primeiro lugar será pesquisado o desenvolvimento da consciencialização da sustentabilidade de uma forma geral e a própria definição desta. A sustentabilidade avoca objetivos específicos para a arquitetura, encontrando-se estes objetivos plasmados nas ferramentas de apoio. Os vários tipos de ferramentas atuam em escalas diferentes, podendo influir no desenho urbano, no edifício e ainda nos materiais.

As ferramentas existentes serão objeto de uma análise comparativa. Esta comparação evidenciará que a ferramenta de origem nacional chamada Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade (MARS-SC), desenvolvida pelos Engenheiros Bragança e Mateus na Universidade de Aveiro, se aplica de

uma forma completa e eficiente à escala dos materiais, pese embora a sua aplicação original se destinar a soluções construtivas.

A base teórica da ferramenta será adaptada para a conceção de uma ferramenta à escala dos materiais, sendo este o teor principal da investigação. A aplicabilidade da ferramenta será demonstrada por meio de uma comprovação experimental entre 10 materiais de isolamento térmico.

Para além das conclusões específicas, obtidas relativamente aos materiais analisados comprovar-se-á, com esta investigação, que o modelo teórico elaborado se adequa aos materiais. Outro contributo patente nesta investigação é o facto de aditar fontes adequadas para a execução das análises.

Será conseqüentemente criada uma ferramenta que permita aos projetistas adotar escolhas informadas sobre os materiais elegíveis para seu projeto específico.

**Palavras-chave:** Ferramentas de análise, Sustentabilidade, Materiais de Construção, Análise Ciclo de Vida



<b>Título</b>	Ferramentas de análise de grau de sustentabilidade no ambiente construído
<b>Subtítulo</b>	Avaliação de materiais de construção no ato do projeto de arquitetura.
<b>Nome</b>	Sílvia de Lima Vasconcelos
<b>Doutoramento</b>	em Arquitetura
<b>Orientador</b>	Ph. Doctor Arquiteto Carlos Alberto Assunção Alho (Portugal)
<b>Coorientadora</b>	Prof. Dr.-Ing. habil. Birgit Müller (Germany)

## **ABSTRACT**

The aim of this research focuses on sustainability assessment tools in the built environment, given the fact that Sustainability is a concept that's increasingly present in contemporary society, and, concomitantly, in architecture and their creators.

Despite the use of bioclimatic and energy efficient strategies, the architectural body and its materials have a huge impact on the environment, on human comfort, and on economic issues. This research will focus on the existing tools, which offer deliberate decisions, taken at the time of design.

Initially, the development of sustainability awareness and its definition will be researched. Sustainability brings specific goals to the architecture, and these objectives are embodied in the supporting tools. The various types of tools operate at different scales, and can influence the urban design, the building, and even the materials.

The existing tools will be subject to a comparative analysis. This comparison will evidence that the national tool called Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade (MARS-SC) - Relative Sustainability Assessment Methodology (MARS-SC), developed by engineers Bragança and Mateus at the University of Aveiro, is fully and effectively applicable to the materials, even though their original application was intended for construction solutions.

The tool's theoretical basis will be adapted to the design of a material assessment tool, which is the main content of the research. The applicability of this tool will be demonstrated by experimental confirmation among 10 thermal insulation materials.

In addition to the specific conclusions, obtained for the analysed materials, this investigation will demonstrate that the developed theoretical model is suitable for materials. Further contribution seen on this investigation is the fact that it adds appropriate sources for the analysis' execution.

Thus, a tool will be created which enables designers to make informed choices regarding the materials eligible for their specific project.

**Keywords:** Assessment Tools, Sustainability, Building materials, Life Cycle

## **AGRADECIMENTOS**

No final desta etapa de valorização académica, que perdurou durante quatro anos da minha vida e que se desenvolveu entre duas cidades, Lisboa e Berlim, desejo exprimir, a todas as pessoas que me ajudaram neste percurso, o meu mais profundo agradecimento.

Não podendo fazer referência a todas as pessoas, quero louvar todos aqueles que estiveram envolvidos de uma forma mais intensa.

Ao meu orientador, Ph. Doctor Arquiteto Carlos Alberto Assunção Alho da Faculdade de Arquitetura (U.T.L.), pelo valioso apoio, pela confiança no meu trabalho e objetivos propostos, e pelo imensurável enriquecer do meu horizonte.

À minha coorientadora, Prof. Dr.-Ing. habil. Birgit Müller da Hochschule für Technik und Wirtschaft em Berlim, pela sua disponibilidade e dedicação, ao aceitar este desafio de investigação e contribuir com o seu inestimável entusiasmo e profissionalismo.

À minha mãe, pelo suporte incondicional e por me ter dado tão valiosas perspetivas para este mundo.

Ao meu pai, pela força e pragmatismo de enfrentar problemas complexos.

Ao meu companheiro, pela sua paciência extraordinária e seu apoio incondicional.

E por último, ao nosso filho pela motivação que me dá, de querer contribuir para um futuro melhor.

De uma forma geral agradeço ainda a todos os amigos que me motivaram reiteradamente com palavras positivas de incentivo.

A todos, bem hajam pela ajuda que me deram!

## SIGLAS E ABREVIATURAS

ACV	Análise Ciclo de Vida
ACE	Architects' Council of Europe
ADENE	Agência para a Energia
AIA	American Institute of Architects
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BRE	Building Research Establishment
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency
Cd	Cádmio
CE	Comunidade Europeia
CECVS	Campanha Europeia das Cidades e Vilas Sustentáveis
CEE	Comunidade Económica Europeia
CFC	Clorofluorocarboneto
CH <sub>4</sub>	Metano
CNA	Comissão Nacional de Ambiente
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COV	Compostos orgânicos voláteis
CPM	Capability Poverty Measure
CS	Compass of Sustainability
CSD	Council of Sustainable Development
DAP	Declaração Ambiental de Produtos
DGNB	Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsches Institut für Normung
DSR	Driving-force-state-response

DPSIR	Driving-force-pressure-state-impact-response
EFAP-FEPA	European Forum for Architectural Policies
EIA	Estudo do impacte ambiental
EN	Norma Europeia
ENDS	Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável
ENE	Estratégia Nacional para a Energia
EnEV	Energieeinsparverordnung (Regulamento sobre poupanças energéticas)
EPA	United States Environmental Protection Agency
EPD	Environmental Product Declaration
EPS	Poliestireno expandido
Etics	External Thermal Insulation Composite System – Sistema de Isolamento Térmico pelo exterior
EUA	Estados Unidos da América
FER	Fontes de Energia Renováveis
GBC	Green Building Challenge
GEE	Gases com efeitos de estufa
GWP	Global Warming Potential
H2S	Sulfeto de hidrogénio
HDI	Human Development Index
Hg	Mercúrio
HQE	Haute Qualité Environnementale
iiSBE	International Initiative for a Sustainable Built Environment
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Isew	Index of Sustainable Economic Welfare
ISO	International Standard Organization
IUCN	International Union for Conservation of Nature
IV	Infravermelho
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design

LFTC-UM	Laboratório de Física Teórica Computacional
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MARS-SC	Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade
MDF	Medium-density fiberboard
MEP	Monitoring Environmental Progress
MIPS	Material-Input per Service unit
N2O	Óxido Nitroso
NH3	Amoníaco
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
ONU	Organização das Nações Unidas
PAH	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos
Pb	Chumbo
PCB	Bifenilpoliclorado
PCR	Product Category Rules
PCP	Pentaclorofenol
PIR	Poli-isocianaturo
PO4	Fosfatos
PUR	Poliuretano
PS	Poliestireno
PSR	pressure-state-response
QEB	Qualité Environnementale du Bâtiment
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
SBTool	Sustainable Building tool
SEA	Secretaria de Estado do Ambiente
Seea	System of integrated environment and economic account
SIDS	Indicadores de Desenvolvimento Sustentável
SMO	Système de Management de l'Opération

SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
SVOC	Semi Volatile Organic Compound
TMC	Total Material Consumption
TMI	Total Material Input
U	Coeficiente de transmissão térmica
UE	União Europeia
UIA	União Internacional de Arquitetos
UNCSD	Comissão das Nações Unidas para Desenvolvimento Sustentável
UNEP	United Nations Environment Programme (Programa das Nações Unidas para o Ambiente)
UNFCCC	United Nation Framework Convention on Climate Change
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UV	Ultra violeta
VOC	Volatile Organic Compound
WCED	World Commission on Environment and Development
WWF	World Wildlife Found
XPS	Poliestireno extrudido
US GBC	United States Green Building Council
WSchVo	Wärmeschutzverordnung (Regulamento sobre isolamentos térmicos dos edifícios)

## ÍNDICE

<b>Resumo</b>	3
<b>Abstract</b>	5
<b>Agradecimentos</b>	7
<b>Siglas e Abreviaturas</b>	8
<b>Índice</b>	12
<b>Índice de Imagens</b>	16
<b>Índice de Tabelas</b>	21
<b>Glossário</b>	22
<b>CAPÍTULO I. Introdução</b>	28
<b>1.1. Pertinência do Tema</b>	29
1.1.1. Arquitetura como resposta às necessidades do Homem	29
1.1.2. Os problemas da atualidade	32
1.1.3. Perguntas de partida	33
<b>1.2. Objetivo e Âmbito</b>	34
1.2.1. As hipóteses de investigação	35
<b>1.3. Metodologia da Investigação</b>	36
1.3.1. Desenho da Investigação	38
1.3.2. Pertinência e Objetivo	39
1.3.3. Revisão da literatura	39
1.3.4. Revisão ferramentas de análise de dados de sustentabilidade	40
1.3.5. Construção do modelo teórico da Ferramenta	40
1.3.6. Recolha de dados/ comprovação experimental	40
1.3.7. Transformação dos dados	41
1.3.8. Análise dos resultados	41
1.3.9. A relação entre a hipótese e a metodologia	42



1.3.10. Utilidade teórica e prática	42
1.3.11. Limites da investigação	43
1.3.12. Instrumentos de pesquisa	44
<b>1.4. Estrutura da tese</b>	<b>45</b>
<b>CAPÍTULO II. Enquadramento</b>	<b>48</b>
<b>2.1. Introdução</b>	<b>49</b>
<b>2.2. O que é Sustentabilidade?</b>	<b>50</b>
2.2.1. O Conceito de Sustentabilidade e o seu desenvolvimento histórico	50
2.2.1.1. Autores e Jornais influentes no conceito de sustentabilidade	66
2.2.2. Consciencialização ambiental e o seu desenvolvimento histórico	67
2.2.3. A crise ambiental e económica	76
<b>2.3. O papel dos Materiais na Arquitetura</b>	<b>81</b>
2.3.1. Qual a importância dos materiais para a Arquitetura?	81
2.3.2. O que é um material sustentável?	84
<b>2.4. Ferramentas de Avaliação de Grau de Sustentabilidade</b>	<b>88</b>
<b>2.5. Conclusão</b>	<b>89</b>
<b>CAPÍTULO III. Estado da Arte</b>	<b>90</b>
<b>3.1. Enquadramento legal</b>	<b>91</b>
3.1.1. Quadro internacional	91
3.1.2. Quadro nacional	98
<b>3.2. Tipos de Ferramentas</b>	<b>101</b>
3.2.1. Ferramentas de Avaliação de Grau de Sustentabilidade e o seu desenvolvimento histórico	101
3.2.2. Análise Ciclo de Vida	108
3.2.3. Rótulos Ecológicos	115
3.2.4. Ferramentas Check-List/Certificação	118

3.2.5. Ferramentas de ACV para Materiais e Produtos	134
3.2.6. Comparação das Ferramentas existentes	142
<b>3.3. Conclusão</b>	<b>149</b>
<b>CAPÍTULO IV. Construção do modelo teórico da ferramenta de avaliação de grau de sustentabilidade de materiais</b>	<b>152</b>
<b>4.1. Ferramenta de Avaliação de Grau de Sustentabilidade do Material</b>	<b>153</b>
4.1.1. Objetivos a cumprir pela ferramenta	153
4.1.2. Fluxograma da ferramenta	155
4.1.3. Tipo de Informação a colher	157
<b>4.2. Critérios</b>	<b>157</b>
4.2.1. Critérios ecológicos	157
4.2.2. Critérios económicos	166
4.2.3. Critérios conforto humano/funcional/social	169
<b>4.3. Recolha de dados</b>	<b>175</b>
<b>4.4. Transformação dos dados</b>	<b>177</b>
4.4.1. Normalização	177
4.4.2. Agregação	177
4.4.3. Ponderação	178
<b>4.5. Resultados</b>	<b>178</b>
<b>4.6. Exposição gráfica</b>	<b>179</b>
<b>4.7. Conclusão</b>	<b>181</b>
<b>CAPÍTULO V. Comprovação Experimental</b>	<b>184</b>
<b>5.1. Seleção de materiais de construção para a comprovação experimental do instrumento de avaliação</b>	<b>185</b>
<b>5.2. Isolamento térmico</b>	<b>185</b>
5.2.1. XPS – Poliestireno Extrudido (material de referência)	189
5.2.2. EPS – Poliestireno Expandido	191
5.2.3. Espuma rígida de poliuretano (PUR/PIR)	193

5.2.4. Fibras de Linho	195
5.2.5. Cortiça	197
5.2.6. Painéis de Fibra de madeira (molhado e seco)	199
5.2.7. Celulose em flocos e placas	201
5.2.8. Lã de rocha mineral e de vidro	203
5.2.9. Espuma de vidro	205
5.2.10. Placas de Silicato de cálcio	207
<b>5.3. Resultados</b>	<b>208</b>
5.3.1. XPS   EPS	213
5.3.2. XPS   PUR/PIR	215
5.3.3. XPS   Linho	217
5.3.4. XPS   Cortiça	219
5.3.5. XPS   Fibras de madeira (molhado)	221
5.3.6. XPS   Fibras de madeira (seco)	223
5.3.7. XPS   Celulose	225
5.3.8. XPS   Lã de rocha	227
5.3.9. XPS   Espuma de vidro	229
5.3.10. XPS   Silicato de cálcio	231
<b>5.4. Resultados representados com o CIRCOS</b>	<b>233</b>
<b>5.5. Discussão dos Resultados</b>	<b>235</b>
<b>CAPÍTULO VI. Conclusão</b>	<b>238</b>
6.1. Conclusões específicas	239
6.2. Conclusões gerais	241
6.3. Perspetivas de desenvolvimento	243
<b>Bibliografia</b>	<b>245</b>
<b>Anexos</b>	<b>255</b>

## ÍNDICE DE IMAGENS

Figura nº1:	Mudança de paradigma do existente para o sustentável. Fonte: VANEGAS et.al, 1995.	31
Figura nº2:	Gráfico da evolução da população mundial. Fonte: www.census.gov	32
Figura nº3:	Esquema cronológico do projeto e a atuação da ferramenta. Fonte própria.	34
Figura nº4:	Desenho da investigação. Fonte própria.	38
Figura nº5:	Carl von Carlowitz. Fonte: <a href="http://www.agenda21-treffpunkt.de">http://www.agenda21-treffpunkt.de</a>	50
Figura nº6:	Triângulo que forma o conceito de Sustentabilidade. Fonte própria.	50
Figura nº7:	Gráfico da evolução do número de artigos em revistas internacionais contendo as palavras “Desenvolvimento sustentável “ no título, no resumo ou nas palavras-chave. Fonte: TORRAL, 2010.	52
Figura nº8:	Gráfico da Pegada ecológica por região. Fonte: LOH et. Al, 2006.	62
Figura nº9:	Gráfico da eliminação de excedente global. Fonte: LOH et. Al, 2006.	63
Figura nº10:	Esquema - Como catalisar a transição para a sustentabilidade. Fonte: LOH et. Al, 2006.	64
Figura nº11:	Gráfico da evolução das contribuições literárias de vários campos científicos sobre o desenvolvimento sustentável. Fonte: QUENTAL, 2009.	67
Figura nº12:	Gráfico da evolução do aumento de temperatura global média com o nível de concentração de CO2 atmosférico. Fonte: STANFORD SOLAR CENTER, 2008. <a href="http://solar-center.stanford.edu/sun-on-earth/glob-warm.html">http://solar-center.stanford.edu/sun-on-earth/glob-warm.html</a>	77
Figura nº13:	Aumento da área de deserto em função da subida da temperatura média do ar. Fonte: UNEP, 2006.	77

Figura nº14:	Gráficos da evolução dos indicadores macroeconómicos. Fonte: RIANOVOSTI, 2011.  <a href="http://en.rian.ru/infographics/20110916/166891235.html#comm">http://en.rian.ru/infographics/20110916/166891235.html#comm</a>	80
Figura nº15:	Esquematização das várias escalas de indicadores de desenvolvimento sustentável. Adaptado por autor, Fonte original: SILVA, 2007.	102
Figura nº16:	Figura 16: Esquematização do modelo PSR. (Fonte <a href="http://www.fao.org/">http://www.fao.org/</a> )	103
Figura nº17:	Esquematização dos indicadores por vertente de incidência. Fonte: SILVA, 2007.	104
Figura nº18:	Esquematização do ciclo de vida de um produto. Fonte: IDDS, 2010.	106
Figura nº19:	Esquematização das fases de uma ACV. Fonte: ISO, 2006.	109
Figura nº20:	Esquematização dos Inputs e Outputs do ciclo de vida. Fonte própria.	110
Figura nº21:	Exemplo de um fluxograma da produção de uma pedra para revestimento. Fonte própria.	113
Figura nº22:	Vários logotipos dos rótulos ecológicos. Fontes várias.	116
Figura nº23:	Seta cronológica da data de criação das ferramentas Checklist. Fonte própria.	118
Figura nº24:	Classificações do BREEAM e o seu certificado. Fonte: <a href="http://www.bre.co.uk">www.bre.co.uk</a>	121
Figura nº25:	Crítérios e parâmetros de avaliação do HQE. Fonte: <a href="http://www.assohqe.org">www.assohqe.org</a>	123
Figura nº26:	Folha de avaliação com os resultados do SBTool. Fonte: <a href="http://www.iisbe.org">http://www.iisbe.org</a>	125
Figura nº27:	Classificações e certificado do LEED. Fonte: <a href="http://www.usgbc.org">www.usgbc.org</a>	127

Figura nº28:	Folha de avaliação com os resultados do Casbee. Fonte: <a href="http://www.eco.pref.mie.lg.jp">www.eco.pref.mie.lg.jp</a>	129
Figura nº29:	Certificado do LiderA. Fonte: <a href="http://www.lidera.info">www.lidera.info</a>	131
Figura nº30:	Roda de avaliação de DGNB. Fonte: <a href="http://www.dgnb-system.de">http://www.dgnb-system.de</a>	133
Figura nº31:	Interface Athena. Fonte: <a href="http://www.architectureweek.com">http://www.architectureweek.com</a>	134
Figura nº32:	Interface Audit. Fonte: <a href="http://www.grantadesign.com">http://www.grantadesign.com</a>	135
Figura nº33:	Esquema de avaliação do BEES. Fonte: <a href="http://www.nist.gov">http://www.nist.gov</a>	136
Figura nº34:	Interface BEES. Fonte: <a href="http://www.nist.gov">http://www.nist.gov</a>	136
Figura nº35:	Interface Eco-Quantum. Fonte: <a href="http://www.grantadesign.com">http://www.grantadesign.com</a>	137
Figura nº36:	Interface GaBi. Fonte: <a href="http://www.gabi-software.com">http://www.gabi-software.com</a>	138
Figura nº37:	Representação gráfica do MARS-SC. Fonte: FERNANDO, 2010.	139
Figura nº38:	Interface Simapro. Fonte: <a href="http://www.simapro.co.uk">http://www.simapro.co.uk</a>	140
Figura nº39:	Interface Umberto Fonte: <a href="http://www.umberto.de">http://www.umberto.de</a>	141
Figura nº40:	Percentagens de avaliação das várias ferramentas. Fonte própria.	145
Figura nº41:	Fluxograma da ferramenta. Fonte própria.	156
Figura nº42:	Esquematização do fluxo de GEE. Fonte própria.	158
Figura nº43:	Esquematização de emissões poluentes. Fonte própria.	160
Figura nº44:	Esquematização de chuvas ácidas. Fonte própria.	161
Figura nº45:	Esquematização da destruição da chamada de ozono. Fonte própria.	162
Figura nº46:	Representação gráfica dos resultados dos parâmetros individualmente. Fonte própria.	179
Figura nº47:	Representação gráfica dos resultados dos três indicadores. Fonte própria.	180

Figura nº48:	Representação gráfica dos dados através do <i>software</i> CIRCOS. Fonte: <a href="http://www.circos.ca/">http://www.circos.ca/</a>	181
Figura nº49:	XPS. Fonte: <a href="http://www.texsa.com">http://www.texsa.com</a>	189
Figura nº50:	EPS. Fonte: <a href="http://salvisola.pt">http://salvisola.pt</a>	191
Figura nº51:	PUR/PIR. Fonte: <a href="http://www.heinze.de">http://www.heinze.de</a>	193
Figura nº52:	Fibras de linho. Fonte: <a href="http://www.haganatur.ch">http://www.haganatur.ch</a>	195
Figura nº53:	Cortiça. Fonte: <a href="http://rundum-natur.de">http://rundum-natur.de</a>	197
Figura nº54:	Fibra de madeira. Fonte: <a href="http://www.glunz.de">http://www.glunz.de</a>	199
Figura nº55:	Celulose. Fonte: <a href="http://www.glunz.de">http://www.glunz.de</a>	201
Figura nº56:	Lã mineral. Fonte: <a href="http://Jalag-syndication.de">Jalag-syndication.de</a>	203
Figura nº57:	Espuma de vidro. Fonte: <a href="http://Jalag-syndication.de">Jalag-syndication.de</a>	205
Figura nº58:	Silicato de cálcio. Fonte: <a href="http://www.dracholin.de">www.dracholin.de</a>	207
Figura nº59:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/EPS. Fonte própria.	214
Figura nº60:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/EPS. Fonte própria.	214
Figura nº61:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ PUR/PIR. Fonte própria.	216
Figura nº62:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ PUR/PIR. Fonte própria.	216
Figura nº63:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Linho. Fonte própria.	218
Figura nº64:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Linho. Fonte própria.	218
Figura nº65:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Cortiça. Fonte própria.	220
Figura nº66:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Cortiça. Fonte própria.	220

Figura nº67:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Fibra Madeira (molhado). Fonte própria.	222
Figura nº68:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Fibra Madeira (molhado). Fonte própria.	222
Figura nº69:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Fibra Madeira (seco). Fonte própria.	224
Figura nº70:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Fibra Madeira (seco). Fonte própria.	224
Figura nº71:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Celulose. Fonte própria.	226
Figura nº72:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Celulose. Fonte própria.	226
Figura nº73:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Lã de Rocha. Fonte própria.	228
Figura nº74:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Lã de Rocha. Fonte própria.	228
Figura nº75:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Espuma de vidro. Fonte própria.	230
Figura nº76:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Espuma de vidro. Fonte própria.	230
Figura nº77:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Silicato de Cálcio. Fonte própria.	232
Figura nº78:	Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Silicato de Cálcio. Fonte própria.	232
Figura nº79:	Representação gráfica dos dados através do <i>software</i> CIRCOS. Fonte: <a href="http://www.circos.ca/">http://www.circos.ca/</a>	234



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela nº1:	Correspondência entre as hipóteses de investigação formuladas e a metodologia adotada para a sua validação. Fonte própria.	42
Tabela nº2:	Categorias de algumas ferramentas Checklist. Fonte própria.	143
Tabela nº3:	Comparação entre os vários tipos de ferramentas. Fonte própria.	148
Tabela nº4:	Vários tipos de GEE e o seu GWP. Fonte: IPCC, 2007.	159
Tabela nº5:	Recursos existentes. Fonte primária: USGS, 2012.	163
Tabela nº6:	Categorias do potencial de reciclagem dos materiais. Fonte própria.	165
Tabela nº7:	Energia despendida conforme o tipo de transporte. Fonte: BERGE, 2009.	165
Tabela nº8:	Valor médio para as várias categorias de resíduos. Fontes várias.	168
Tabela nº9:	Materiais ordenados pela sua qualidade acústica. Fonte própria.	170
Tabela nº10:	Materiais ordenados pela sua durabilidade. Adaptado da fonte BBSR, 2012.	171
Tabela nº11:	Materiais ordenados pela sua resistência ao fogo. Adaptado da fonte DIN, 1998.	173
Tabela nº12:	Substâncias tóxicas nos materiais. Fontes várias: BÜNGER, 2006 e HEMPFLING, 1994.	174
Tabela nº13:	Tabela com os dados originais de todos os parâmetros e valores depois da normalização. Fonte própria.	209
Tabela nº14:	Tabela com os valores somados de cada categoria. Fonte própria.	210

## GLOSSÁRIO

<b>Alterações climáticas</b>	Variação do clima, à escala do planeta Terra, ao longo do tempo. O mais recente relatório das Nações Unidas confirma as evidências científicas das atuais mudanças do clima, e identifica explicitamente as emissões de gases com efeito de estufa, resultantes das atividades humanas, como um fator determinante para o aquecimento do Planeta.
<b>Análise do ciclo de vida</b>	Aborda os aspetos ambientais e potenciais impactes ambientais (por exemplo, consumo de recursos e respetivas consequências ambientais) durante todo o ciclo de vida do produto desde a aquisição das matérias-primas passando pela produção, consumo, tratamento de fim de vida, reciclagem, tratamento e descarga final (ou seja, o conceito <i>cradle to grave</i> ).
<b>Ambiente</b>	Conjunto dos sistemas físicos, ecológicos, económicos e socioculturais com efeito direto ou indireto sobre a qualidade de vida do homem.
<b>Aquecimento global</b>	Aumento da temperatura média da Terra. Investigações indicam que a queima de combustíveis fósseis e a poluição industrial lançam gases que intensificam o efeito estufa, provocando mudanças climáticas e o aquecimento global.
<b>Arquitetura bioclimática</b>	É a arquitetura que busca otimizar a relação da obra com o ambiente envolvente, harmonizando as construções com o clima e características locais. Permite a manipulação do desenho e de elementos arquitetónicos a fim de otimizar as relações entre o homem e a natureza, tanto no que diz respeito à redução de impactes ambientais, como em relação à melhoria das condições de vida humana, conforto e racionalização do consumo energético.

<b>Avaliação comparativa</b>	Avaliação relativa ao valor ou equivalência de um produto em relação a um produto concorrente que desempenhe a mesma função.
<b>Aspeto ambiental</b>	Elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o ambiente.
<b>Biodiversidade</b>	Variabilidade entre organismos vivos de todas as origens, compreende a diversidade dentro de cada espécie, entre espécies e dos ecossistemas.
<b>Biomassa</b>	Massa seca total de material biológico; fração biodegradável de produtos e resíduos da atividade agrícola e florestal (cereais, forragens, produtos amiláceos, oleaginosas, produtos fibrosos e lenhosos, etc.), assim como de resíduos industriais e urbanos.
<b>Biosfera</b>	Conceito ecológico que designa o domínio de todos os organismos vivos no planeta.
<b>Combustíveis fósseis</b>	Os combustíveis fósseis são substâncias de origem mineral, formados pelos compostos de carbono como sejam o petróleo, o carvão mineral e o gás natural que, na escala de tempo humana, não são renováveis.  A queima destes combustíveis gera altos índices de poluição atmosférica, e, por conseguinte, são os grandes responsáveis pelo efeito estufa e pelo aquecimento global.
<b>Coproducto</b>	Qualquer de dois ou mais produtos oriundos do mesmo processo unitário ou sistema de produto.
<b>Crítérios</b>	Faculdade de distinguir o bom do mau. Uma ferramenta de avaliação de grau de sustentabilidade aplica critérios de análise (ecológico, económico, social).

<b>Ciclo de Vida</b>	CV - Etapas consecutivas e interligadas de um sistema de produto, desde a obtenção de matérias-primas ou sua produção a partir de recursos naturais até ao destino final.
<b>Desenvolvimento Sustentável</b>	Desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades. De acordo com a Estratégia da União Europeia para o Desenvolvimento Sustentável (COM, 2001), o crescimento económico, a coesão social e a proteção ambiental devem andar de mãos dadas, a fim de se alcançar a sustentabilidade, ou seja, o desenvolvimento sustentável só é possível através de um compromisso entre os três pilares: ecológico, económico, social.
<b>Dados em bruto ou originais</b>	Dados recolhidos de uma fonte que não foram sujeitos a transformações ou outro tipo de alteração.
<b>Desertificação</b>	Indica a redução de processos vitais nos ambientes. Tem sido usado para especificar a expansão de áreas desérticas em países de clima quente e seco. Implica a redução das condições agrícolas do planeta.
<b>Ecological Rucksack</b>	O Ecological Rucksack quantifica o impacto de um objeto no ambiente, e é calculado com base na soma de todos os materiais e energia necessários, numa perspetiva de ciclo de vida, para produzir determinado produto ou serviço.
<b>Emissões e descargas</b>	Emissões para o ar e descargas para a água e o solo.

<b>Energia renovável</b>	É a energia proveniente de recursos naturais renováveis, como a energia eólica (ventos), a energia solar, a energia das marés, a biomassa (matéria orgânica) e a geotermia (calor interno da Terra). As energias renováveis são opções de menor impacto para a geração de energia a partir de fontes não renováveis, como o petróleo.
<b>Fronteira do sistema</b>	Conjunto de critérios que especificam que processos unitários são parte de um sistema de produto.
<b>Impacte Ambiental</b>	Conjunto de alterações favoráveis ou desfavoráveis produzidas em parâmetros ambientais e sociais, num determinado período de tempo e numa determinada área, resultante da concretização do projeto, comparadas com a situação que ocorreria, nesse período e nessa área, se esse projeto não tivesse lugar.
<b>Indicadores</b>	Um indicador é uma propriedade calculada a partir da média de parâmetros, fornece informações sobre um determinado critério de avaliação, e, é um reflexo da realidade de uma forma sintetizada.
<b>Matéria-prima</b>	Material primário ou secundário que é utilizado para produzir um produto.
<b>Modelo dos três Pilares</b>	Modelo teórico do conceito de sustentabilidade que abarca três áreas: a ecológica, a económica e a social.
<b>Parâmetros</b>	Variável que permite definir ou comparar algo. Uma ferramenta de avaliação de grau de sustentabilidade contém parâmetros dentro dos três critérios de análise (ecológico, económico, social).
<b>Pegada ecológica</b>	Área de terra necessária para sustentar o consumo e o desperdício das atividades do ser humano.

<b>Poluição</b>	Alteração indesejável, caracterizada pela introdução de altas concentrações de substâncias prejudiciais ou perigosas, calor ou ruído no ambiente. A poluição geralmente é resultado da atividade humana.
<b>Processo</b>	Conjunto de atividades inter-relacionadas ou que interagem entre si, que transforma entradas em saídas.
<b>Qualidade dos dados</b>	Característica dos dados, relacionada com a sua capacidade para satisfazer requisitos estabelecidos.
<b>Reciclagem</b>	Quando se conseguem reaproveitar os materiais constituintes de um componente para sua utilização na constituição de novos componentes, reduzindo-se, na maior parte dos casos, o consumo de energia associado ao seu fabrico.
<b>Recursos naturais</b>	Componentes ou materiais da paisagem geográfica aos quais foram atribuídos, historicamente, valores económicos, sociais e culturais. Exemplos: madeira, minérios, petróleo, areia, peixes, florestas, etc..
<b>Reserva ecológica</b>	Área cujo objetivo é a proteção e a manutenção das florestas, outras formações de vegetação natural, públicas ou privadas, e espaços considerados de preservação permanente.
<b>Resíduo</b>	Qualquer substância ou objetos de que o detentor se desfaz, ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer.
<b>Reutilização</b>	Sempre que seja possível aproveitar componentes em utilizações análogas e sem alterações.
<b>Sustentabilidade</b>	Conceito para a subsistência dos aspetos económico, social, cultural e ambiental da sociedade humana, a fim de tornar possível a recomposição das agressões impostas à sociedade e ao ambiente.

<b>Unidade funcional</b>	Desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como unidade de referência.
<b>Transparência</b>	Apresentação aberta, completa e compreensível de informação.
<b>Variável</b>	Propriedade de um sistema, que pode mudar o seu valor.

## CAPÍTULO I | INTRODUÇÃO

*“A construção é a arte de formar um todo com sentido a partir de muitas partes. Os edifícios são testemunhos da capacidade humana de construir coisas concretas. O verdadeiro núcleo de qualquer tarefa arquitetônica encontra-se, no meu entender, no ato de construir. É aqui, onde os materiais concretos são reunidos e erigidos, que a arquitetura imaginada se torna parte do mundo real.”*

Peter Zumthor

<b>1.1. Pertinência do Tema</b>	29
1.1.1. Arquitetura como resposta às necessidades do Homem	29
1.1.2. Os problemas da atualidade	32
1.1.3. Perguntas de partida	33
<b>1.2. Objetivo e Âmbito</b>	34
1.2.1. As hipóteses de investigação	35
<b>1.3. Metodologia da Investigação</b>	36
1.3.1. Desenho da Investigação	38
1.3.2. Pertinência e Objetivo	39
1.3.3. Revisão da literatura	39
1.3.4. Revisão ferramentas de análise de dados de sustentabilidade	40
1.3.5. Construção do modelo teórico da Ferramenta	40
1.3.6. Recolha de dados/ comprovação experimental	40
1.3.7. Transformação dos dados	41
1.3.8. Análise dos resultados	41
1.3.9. A relação entre a hipótese e a metodologia	42
1.3.10. Utilidade teórica e prática	42
1.3.11. Limites da investigação	43
1.3.12. Instrumentos de pesquisa	44
<b>1.4. Estrutura da tese</b>	45



## **1.1. PERTINÊNCIA DO TEMA:**

### **1.1.1. ARQUITETURA COMO RESPOSTA ÀS NECESSIDADES DO HOMEM**

A fusão do conceito de Sustentabilidade com a prática da Arquitetura, desde das suas componentes conceptuais até ao seu lado pragmático, é um percurso iniludível da sociedade contemporânea. É neste sentido que, no âmbito desta investigação, se pretende analisar o conceito de Sustentabilidade no que concerne à disciplina de Projeto de Arquitetura. Esta investigação visa definir critérios para a elaboração de uma ferramenta de análise de grau de Sustentabilidade do ambiente construído. É expectável que a sua aplicação na prática de projeto possa contribuir para uma arquitetura mais sustentável.

Segundo Macedo (2010), entre outros autores, a arquitetura evolui e transforma-se como resposta a habitats insatisfatórios, sendo notório que, quando confrontada com questões civilizacionais prementes, a arquitetura sempre criou novos paradigmas e soluções de modo a dar uma resposta consentânea. A concretização de respostas teve uma implementação alicerçada nas materialidades do seu tempo.

Com a crescente consciencialização dos problemas globais, tais como a degradação da camada do ozono e as chuvas ácidas, as questões ambientais passaram a ser percecionadas não só a nível da sua repercussão como ao nível do processo. Compreendeu-se então que os impactes ambientais resultantes de uma determinada atividade eram provocados por todo o processo produtivo, assumindo-se a necessidade de compatibilizar tais processos com o conceito de desenvolvimento sustentável (PINHEIRO, 2006).

Atualmente vive-se, em simultâneo, uma fase de crise económica e ambiental. Registam-se a nível global alterações climáticas, degradação do meio ambiente, explorações colossais de recursos, poluição e desigualdades socioeconómicas cada vez maiores. As cidades, com a sua densa área de construção, são um dos principais atores deste cenário.

Macedo (2010) releva, igualmente, ser hoje um dado adquirido que o nosso processo de exploração e crescimento nos conduziu a uma encruzilhada civilizacional. Esta encruzilhada tem um potencial que nenhuma outra teve na história da humanidade e que pode alterar definitivamente o equilíbrio planetário,

podendo, no limite, acabar com o processo civilizacional tal como o conhecemos. Contudo esta situação não é uma inevitabilidade. Encontramo-nos numa altura onde, mais uma vez, o engenho e a capacidade de adaptação da espécie humana se preparam para reagir à adversidade.

É na forma de organização e de execução dos projetos que os arquitetos podem contribuir para o desenvolvimento sustentável.

A transformação e atuação de arquitetura, como uma resposta a problemas e necessidades da época, são claramente constatáveis no seu desenvolvimento histórico.

Temos como exemplo a cidade medieval que se localizava geralmente em áreas inexpugnáveis, por imperativos de defesa, com muros elevados na sua envolvente e com um desenho predominantemente orgânico. Toda a sua estrutura e organização resultavam desta necessidade primordial, a defesa.

Com a revolução industrial surgiram graves problemas de salubridade. Estes originaram conceitos que se iniciaram com Charles Fourier e culminaram em Le Corbusier e a Carta de Atenas, passando pelas cidades jardim, pelo modernismo, pelo racionalismo, entre outros (MACEDO, 2010), alterando drasticamente a formalização urbanística e arquitetónica.

Por exemplo, em Portugal, o Estado Novo veio propiciar a prática e a experimentação de uma nova geração de arquitetos, que procuraram responder aos novos programas e às novas técnicas construtivas com recurso aos princípios racionalistas, incorporando a necessidade adicional de desenvolver uma arquitetura que fosse simultaneamente emblemática e tradutora de um sentido de dignidade (BAPTISTA, 2008).

No final da 2ª Guerra Mundial, a crescente necessidade de construção e seriação da reconstrução, desencadeou desafios que foram parcialmente resolvidos pelas intervenções governamentais e pela industrialização massiva da indústria da construção. O problema da contínua urbanização criou novos paradigmas. As intervenções realizadas, a falta de referências urbanas, a progressiva desumanização do espaço público e urbano, e, o excessivo zonamento levantaram novos problemas, o que originou, por sua vez, novas respostas como o regionalismo crítico e o pós-modernismo. Cada uma dessas respostas teve associadas materialidades e expressividades próprias. No caso do regionalismo crítico é de ressaltar a utilização de materiais e técnicas de tradição local

associadas à tradição moderna enquanto que o Pós-modernismo se caracterizou pela junção da tradição clássica aos materiais mais expressivos da sociedade de consumo (MACEDO, 2010).

Atualmente, concomitante às questões de cariz ambiental e económico-social, emerge o conceito de Sustentabilidade que se tornou uma realidade incontestável da sociedade contemporânea. É imprescindível uma abordagem ambiental que transcenda os limites nacionais para dar resposta a questões e problemáticas à escala global. Enquanto que anteriormente se tentava reparar os estragos provocados, hoje em dia apela-se a uma atitude preventiva. Esta alteração de paradigma exige um sistema que não ponha em causa as bases necessárias à sua existência.

A figura nº1 esquematiza esta alteração de paradigma, sendo que, do lado esquerdo, se encontra o atual ou antigo paradigma cujos valores são o tempo, o custo, e a qualidade. Já o novo paradigma estende o seu horizonte e inclui a satisfação humana, o mínimo impacte ambiental negativo e o mínimo consumo energético e de matéria-prima.

A escolha de instrumentos que permitam apoiar o desenvolvimento de projetos de edifícios sustentáveis, assegurando a sua avaliação e reconhecimento, assume cada vez maior importância entre as possíveis linhas de intervenção (PINHEIRO, 2006).

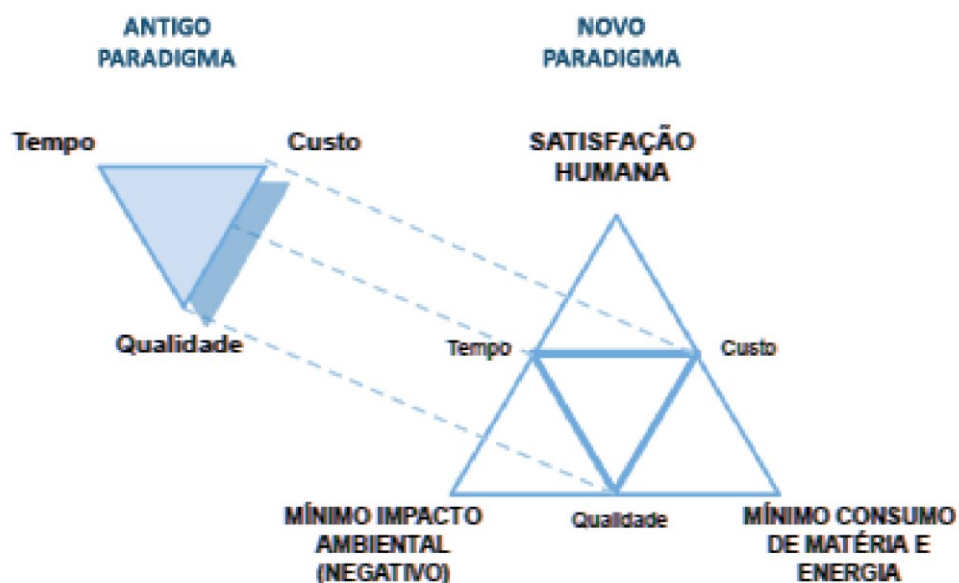


Figura 1: Mudança de paradigma do existente para o sustentável.  
(Fonte: VANEGAS et. al, 1995)

### 1.1.2. OS PROBLEMAS DA ATUALIDADE

A indústria da construção, a nível mundial, consome mais matérias-primas (aproximadamente 3000 Mt/ano, quase 50% em massa (ROODMAN, 1995)) do que qualquer outra atividade económica (TORGAL, 2007).

Estima-se (CIB, 1999) que o edificado e atividades afins originem cerca de 40% do total de resíduos produzidos (PINHEIRO, 2006).

Em termos ambientais, a indústria da construção é responsável por 30% das emissões de carbono, sendo que o parque edificado consome 42% da energia produzida (TORGAL, 2010).

O aumento da população mundial, (até ao ano 2030 é expectável que aumente mais de 2000 milhões de pessoas) e, as necessidades implícitas em termos de construção de edifícios e de outras infraestruturas, agravará ainda mais o consumo de matérias-primas não renováveis, assim como a produção de resíduos (TORGAL, 2007) (Fig. nº2).

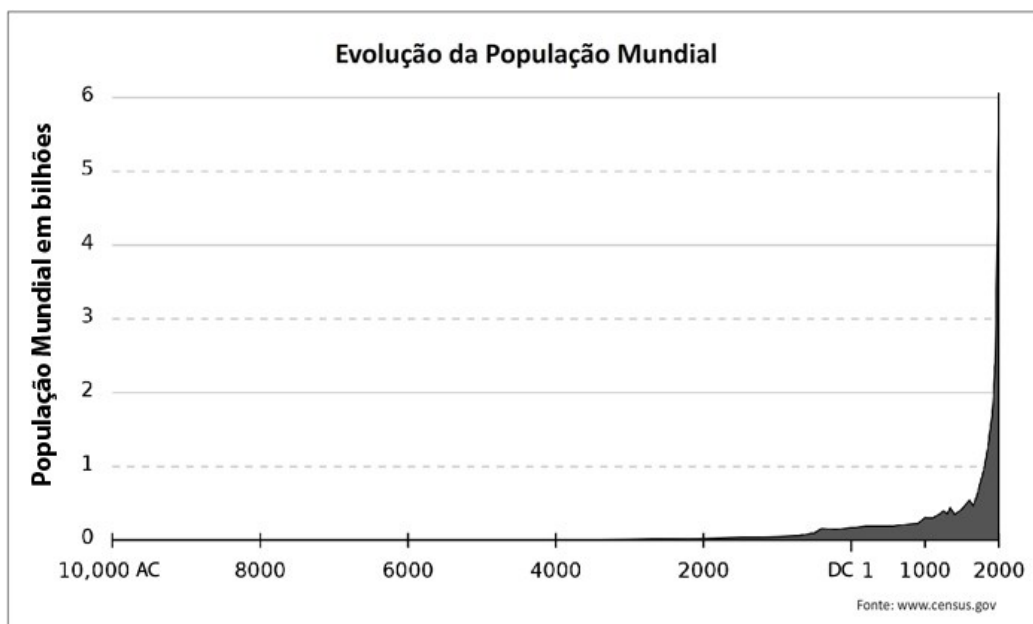


Figura 2: Gráfico da evolução da população mundial. (Fonte: [www.census.gov](http://www.census.gov))

Para além dos seus fortes impactes na natureza, subsistem problemas construtivos no interior das edificações devido a uma má escolha de materiais (por ex.: a toxicidade, mesmo respeitando normativas regulamentares, etc.) e a uma incorreta aplicação destes, os quais podem causar problemas de saúde aos utentes. Como na Europa contemporânea, as pessoas passam 80 a 90% do seu tempo dentro dos edifícios, erros de conceção e de construção podem ter um efeito significativo na saúde dos ocupantes (PINHEIRO, 2006).

O setor da indústria de construção gere uma percentagem significativa de emprego na Europa, para além de representar 25% de toda a produção industrial europeia (TORGAL, 2010).

Atentos os factos acima referidos, torna-se por demais evidente que as estratégias de projeto devem integrar conceitos que assegurem que os materiais representam um recurso para as gerações vindouras e não um depósito de resíduos problemático para o futuro.

### **1.1.3. PERGUNTAS DE PARTIDA**

- O que é o desenvolvimento sustentável?
- O que é um material sustentável?
- Como se mede o grau de sustentabilidade de um material?
- As ferramentas de avaliação servem para medir o grau de sustentabilidade dos materiais, são rigorosas, transparentes e fáceis de utilizar?
- O projeto de arquitetura pode tirar proveito da utilização deste tipo de ferramenta?

## 1.2. OBJETIVO E ÂMBITO:

A responsabilidade dos projetos de arquitetura recai sobre os seus autores que, cada vez mais, têm que se debruçar sobre mais e diversos conteúdos, e, integrar áreas que não são da sua especialidade. A escolha dos materiais é essencialmente fundamentada em pressões económicas, sendo, por conseguinte, de carácter pouco científico e sem avaliação concreta.

O objetivo principal desta investigação é mitigar esta realidade através do uso de ferramentas de análise de grau de Sustentabilidade para uma avaliação comparativa entre materiais de construção, contribuindo para uma Arquitetura mais sustentável.

Pretende-se desta forma promover o conceito de Sustentabilidade promovendo uma ferramenta prática que incida na fase do projeto de Arquitetura com relevância para os projetistas.

Espera-se encontrar uma estrutura acessível e assimilável, de tal forma clara, que possibilite, quiçá ao público menos especializado, perceber o impacte que tem a sua escolha relativamente a um material de construção.

A ferramenta deve ser utilizada entre a fase de conceção e execução do projeto, para apoiar as decisões na construção. O seguinte esquema (Fig. nº3) ilustra a ordem cronológica do projeto e a atuação da ferramenta:

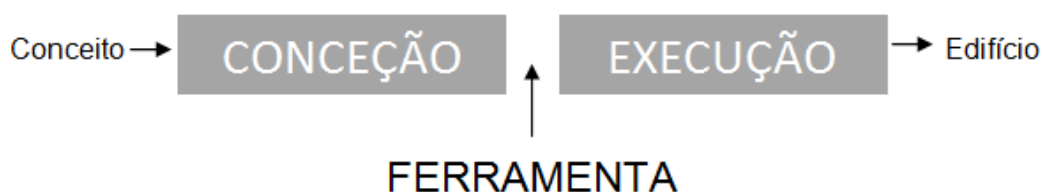


Figura 3: Esquema cronológico do projeto e a atuação da ferramenta. (Fonte própria)

Esta investigação propõe a pesquisa de uma ferramenta que potencie a integração de escolhas sustentáveis, por parte dos projetistas, no ato do projeto. Desta forma pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Compreender a viabilidade da adoção das ferramentas de avaliação na fase de projeto;
- Identificar quais as ferramentas existentes;
- Evidenciar em que contexto a sua utilização produz resultados positivos;
- Salientar quais os pontos fracos e as limitações das ferramentas;
- Entender o impacto da aplicação das ferramentas no desenvolvimento sustentável da Arquitetura;
- Desenvolver um conjunto critérios de avaliação de grau de Sustentabilidade para materiais de construção ao longo do seu ciclo de vida;
- Avaliar a viabilidade da ferramenta através de comprovação experimental;
- Contribuir para um maior conhecimento da importância da utilização destas ferramentas.

### **1.2.1. AS HIPÓTESES DE INVESTIGAÇÃO**

- A escolha dos materiais, ao influenciar positivamente o equilíbrio ecológico, o conforto humano e a economia, contribui para o desenvolvimento sustentável.
- A avaliação do grau de sustentabilidade do material desempenha um papel importante na qualidade do projeto de arquitetura.
- Uma ferramenta de avaliação de grau de sustentabilidade dos materiais é uma mais-valia para os projetistas.

### 1.3. METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO:

A investigação tem como base lógica o método hipotético dedutivo, tendo este como ponto de partida o método dedutivo.

O método dedutivo procura transformar enunciados complexos e universais em particulares, e, formula uma ou várias premissas partindo das teorias e leis para prever a ocorrência de fenómenos particulares. Este método tem o propósito de explicar o conteúdo das premissas ao reformular ou enunciar de modo explícito a informação já contida nas premissas. A dedução serve para garantir o rigor do caminho seguido pelo pensamento, quando ele pensa sobre si mesmo (CARVALHO, 2009).

O método hipotético dedutivo inicia-se pela prospeção de uma lacuna no conhecimento, acerca da qual se formulam hipóteses. Pelo processo de ingerência definitiva, testa a predição da ocorrência de fenómenos descritos pela hipótese. Ou seja, a ciência tem o seu ponto de partida nos problemas que o investigador identifica, os quais são o resultado de discrepâncias entre as expectativas e o que ele observa na realidade. K. Popper (1977), o grande propulsor deste método, defendia a tese de que a ciência começa e termina com problemas e, porquanto a abordagem hipotético dedutiva era a mais adequada na investigação científica.

A sua linha de raciocínio é a seguinte: quando os conhecimentos disponíveis sobre determinado assunto são insuficientes para a explicação de um fenómeno, surge o problema. Para tentar explicar as dificuldades expressas no problema, são formuladas conjecturas ou hipóteses. Das hipóteses formuladas, deduzem-se consequências que deverão ser testadas ou falseadas. Falsear significa tornar falsas as consequências deduzidas das hipóteses (CARVALHO, 2009).

A metodologia da investigação comporta os dez passos seguintes (Fig. nº4):

- 1.) Identificação de um problema para traçar os objetivos;
- 2.) Revisão da Literatura para a elaboração do enquadramento teórico;
- 3.) Identificação do Estado da Arte através da pesquisa específica sobre ferramentas existentes;



- 4.) Análise comparativa das ferramentas;
- 5.) Determinação do quadro de análise;
- 6.) Recolha de dados para a construção do modelo teórico da ferramenta, respetivos critérios e fontes de dados;
- 7.) Comprovação experimental:
  - Escolha de materiais a estudar,
  - Simulação da ferramenta (processamento de dados, normalização, agregação e exposição gráfica);
- 8.) Recolha e análise dos resultados;
- 9.) Discussão dos resultados específicos e gerais;
- 10.) Conclusões e perspectivas de desenvolvimento.

Depois de claramente definidos os objetivos da investigação, e após a pesquisa do estado da arte, é subsequentemente elaborado o modelo teórico da ferramenta de avaliação de grau de sustentabilidade dos materiais através da análise comparativa entre as ferramentas de avaliação existentes. Partindo de metodologias de avaliação com escalas maiores, e respeitando as premissas pré-estabelecidas, chegar-se-á a uma avaliação particular à escala dos materiais.

O modelo teórico da ferramenta a desenvolver representa uma hipótese de avaliação do grau de sustentabilidade dos materiais, a qual será testada, através de comprovação experimental, no sentido de verificar se a hipótese é ou não validada.

Com esta metodologia é expectável proporcionar aos projetistas uma ferramenta apta a apontar soluções e alternativas com uma visão holística, e que incremente o desenvolvimento sustentável do ambiente construído em todas as fases do seu ciclo de vida.

### 1.3.1. DESENHO DA INVESTIGAÇÃO

A seguinte imagem (Fig. nº4) esquematiza o desenho da investigação:

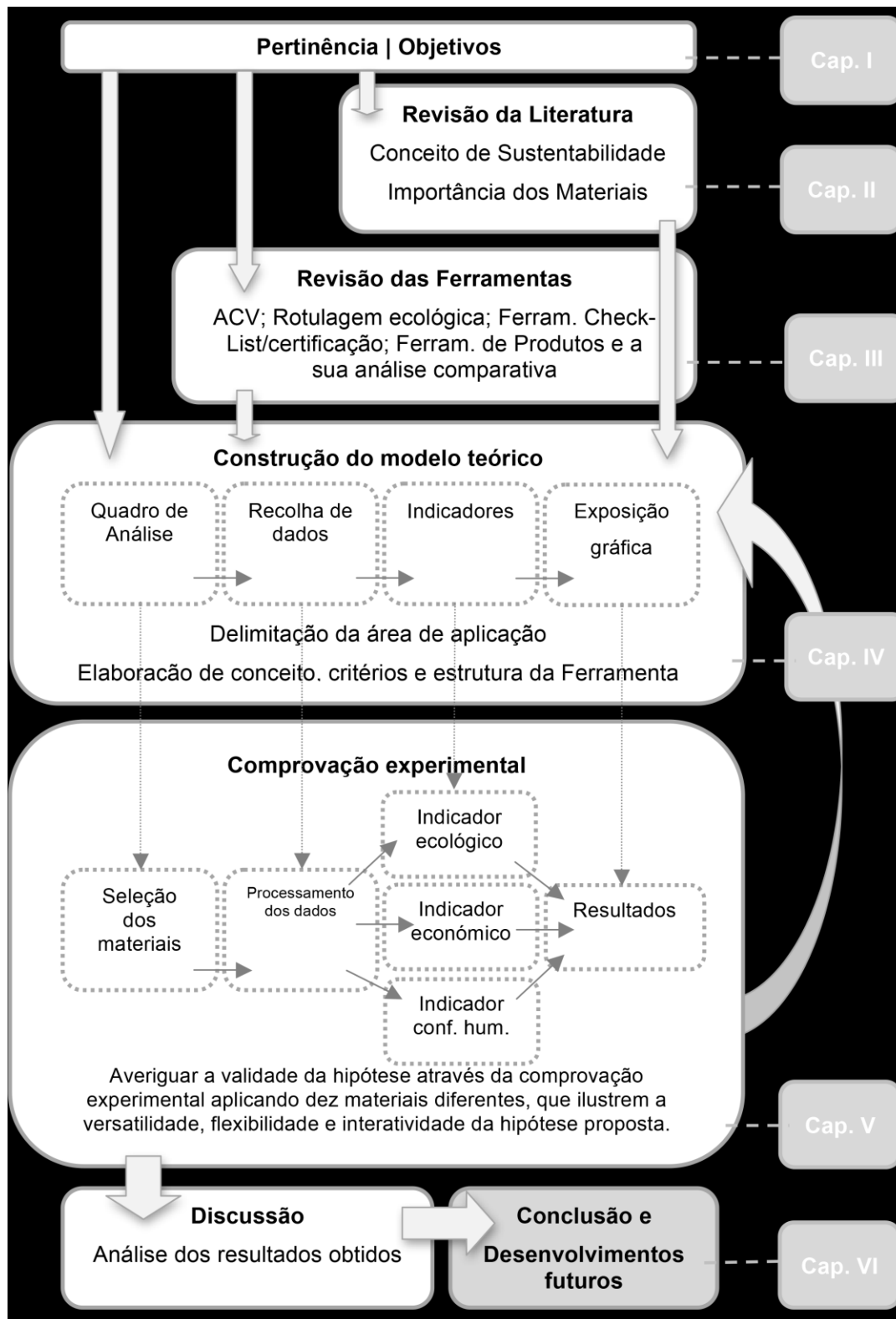


Figura 4: Desenho da investigação. (Fonte própria)

### **1.3.2. PERTINÊNCIA E OBJETIVO**

Perante a ação insustentável do homem para com o planeta e as consequências por vezes irreversíveis destas ações, encontramos-nos numa época de mudança de paradigma, a qual, inevitavelmente também influi sobre a arquitetura e a forma de projetar. Como contributo para um desenvolvimento sustentável necessitamos cada vez mais de ferramentas e de métodos que obviem esta problemática. Para além das inúmeras medidas de melhoramento de desempenho energético das edificações a preocupação com a materialidade é igualmente pertinente.

O objetivo principal desta investigação é criar uma ferramenta de análise de grau de Sustentabilidade para uma avaliação comparativa entre materiais de construção, e promover o conceito de Sustentabilidade utilizando uma ferramenta que potencie a integração de escolhas sustentáveis, por parte dos projetistas (Capítulo I).

### **1.3.3. REVISÃO DA LITERATURA**

Esta investigação começa pela revisão bibliográfica a qual consubstancia o enquadramento (Capítulo II), numa pesquisa teórica/descritiva, para a definição do conceito de sustentabilidade e do material sustentável. A definição destes conceitos é de especial importância dado que, apesar de haverem muitos estudos e reflexões sobre esta temática, ainda não existe um consenso absoluto sobre a sua definição e limite de influência. O paradigma da Sustentabilidade e as ferramentas existentes aplicadas à Arquitetura serão analisados como premissas.

O foco principal da pesquisa incidirá sobre a escolha dos materiais. A preservação de recursos naturais, a minimização de matéria utilizada, o restauro, a reutilização e a reciclagem são cruciais para a avaliação a desenvolver, respeitando as premissas de uma Arquitetura sustentável.

#### **1.3.4. REVISÃO FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE DADOS DE SUSTENTABILIDADE**

Serão observadas ferramentas desenvolvidas por especialistas nas matérias atinentes e em casos de estudo, através de uma pesquisa exploratória, avaliando o Estado da Arte (Capítulo III) no sentido de proceder a uma análise comparativa a qual se consolidará no desenvolvimento do modelo teórico da ferramenta.

Serão analisadas cinco tipos de ferramentas: a análise ciclo de vida, os rótulos ecológicos, as EPD (*Environmental Product Declarations*), as ferramentas Checklist (de certificação) de edifícios e áreas urbanas e as ferramentas de avaliação de produtos e materiais. Relativamente a cada tipo de ferramenta serão selecionadas as ferramentas com maior destaque e uso.

#### **1.3.5. CONSTRUÇÃO DO MODELO TEÓRICO DA FERRAMENTA**

O modelo teórico da ferramenta deverá corresponder a uma ferramenta de caráter claro, simples e transparente. Esta deve incorporar os critérios e os objetivos previamente definidos, sendo estes de caráter holístico implícitos ao conceito de sustentabilidade. Serão utilizadas as conclusões da análise comparativa das ferramentas existentes para o desenvolvimento do modelo da ferramenta (Capítulo IV).

Para além da estrutura teórica da ferramenta serão também definidos os critérios de avaliação dos materiais e a localização das fontes de dados que irão preencher a ferramenta.

#### **1.3.6. RECOLHA DE DADOS/ COMPROVAÇÃO EXPERIMENTAL**

A validade do modelo teórico da ferramenta será apurada por meio de comprovação experimental utilizando dez materiais com propriedades e especificidades diferentes, ilustrando a versatilidade, flexibilidade e interatividade da ferramenta proposta (Capítulo V).

Para o efeito serão escolhidos diversos isolamentos térmicos, os quais, por sua vez, têm um interesse especial devido ao seu impacto na redução de consumo energético dos edifícios. As fontes de dados definidas e/ou elaboradas na construção do modelo teórico da ferramenta serão igualmente testadas. A avaliação dos materiais é relativa a 1m<sup>3</sup>.

### **1.3.7. TRANSFORMAÇÃO DOS DADOS**

Devido ao elevado número de parâmetros necessários para a avaliação do grau de sustentabilidade dos materiais é pertinente a sua transformação para uma melhor leitura e compreensão dos resultados. A normalização é a parte mais importante da transformação dos dados originais, porquanto, neste processo, os dados ficam sem unidade e os valores são convertidos para uma escala entre 0 e 1. Assim é possível efetuar comparações tanto ao nível do valor individual como, depois de agregados, ao nível de um indicador. Os resultados sofrem ainda uma outra transformação, a agregação em indicadores (ecológico, económico e conforto humano) e finalmente uma avaliação global de grau de sustentabilidade (Capítulo V). Os resultados serão expostos em forma tabelar, e também através de gráficos, tornando a sua leitura mais clara e intuitiva. A nível de gráficos são explorados dois tipos de representação, o gráfico radar e o gráfico CIRCOS. Ambos os tipos de gráficos revelam vantagens intrínsecas diferentes sendo, por isso, considerada a sua inclusão para a representação gráfica dos resultados.

O objetivo da transformação dos dados é tornar dados complexos num resultado simples com uma fácil leitura para o utilizador, sem contudo haver perda de informação.

### **1.3.8. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Após a comprovação experimental serão analisados os resultados obtidos comparativamente aos resultados esperados, resultando na discussão da investigação. Serão discutidas as avaliações dos materiais, o modelo teórico da ferramenta e ainda os resultados positivos, assim como os limites e fraquezas da investigação em geral.

O processo de investigação concluir-se á consubstanciando recomendações para perspetivas de desenvolvimento (Capítulo VI).

### 1.3.9. A RELAÇÃO ENTRE A HIPÓTESE E A METODOLOGIA

Na tabela nº1 é elaborada a correspondência entre as hipóteses de investigação formuladas e a metodologia adotada para que estas sejam validadas ou falseadas. As conclusões gerais podem ser obtidas pela junção das várias metodologias utilizadas.

Tabela nº1: Correspondência entre as hipóteses de investigação formuladas e a metodologia adotada para a sua validação. (Fonte própria)

Hipótese	Metodologia seguida
A escolha dos materiais ao influenciar o equilíbrio ecológico, o conforto humano e a economia contribui para o desenvolvimento sustentável.	Revisão bibliográfica de carácter teórica/descritiva para a definição do conceito de sustentabilidade no que concerne a escolha dos materiais.
A avaliação do grau de sustentabilidade do material desempenha um papel importante na qualidade do projeto de arquitetura.	Revisão bibliográfica específica para uma análise comparativa respeitante às ferramentas de análise de grau de sustentabilidade.
Uma ferramenta de avaliação de grau de sustentabilidade dos materiais é uma mais-valia para os projetistas	Comprovação experimental utilizando dez materiais ilustrando a versatilidade, flexibilidade e interatividade da ferramenta proposta.

### 1.3.10. UTILIDADE TEÓRICA E PRÁTICA

Esta investigação é um contributo para o conhecimento e desenvolvimento de ferramentas de avaliação de grau de Sustentabilidade dos materiais. Comprova-se que a perspetiva holística do desenvolvimento sustentável é alcançável através de uma ferramenta desenvolvida no decurso desta tese. Concomitante ao contributo da ferramenta em epígrafe avulta a definição do conceito de sustentabilidade alicerçado no modelo dos três pilares.

A inclusão destes três pilares, o ecológico, o económico e o conforto humano garante a perspetiva holística da ferramenta sendo a sua flexibilidade obtida pela

escolha dos parâmetros que mais se adequam aos materiais em análise. Esta tese contribui para a validação científica deste tipo de opções.

A utilidade prática desta investigação é providenciar uma ferramenta que seja simultaneamente *user friendly* e aplicável em várias fases do projeto.

A característica *user friendly* reflete-se tanto na fácil introdução do *raw data* através de bases de dados adequadas ou tabelas e semáforos elaborados para o efeito, assim como na forma de visualização dos resultados. Esta visualização facilita ao utilizador distinguir entre a classificação geral e os resultados parciais, permitindo que, num caso específico, se possa decidir se um défice é ou não relevante, ou se é, ou não, facilmente resolvido.

A ferramenta pode ser aplicável numa fase inicial do projeto, no projeto de execução ou ainda no acompanhamento da obra, podendo o utilizador decidir quando é que lhe é mais proveitoso o auxílio da ferramenta.

Esta ferramenta pode ainda ser aplicada e introduzida noutras áreas que claramente aproveitariam com a sua utilização, mormente com a opção do *software* CIRCOS para a leitura dos resultados.

A sua utilidade prática estende-se à possibilidade de inserção desta ferramenta noutras Ferramentas de checklist já em uso, as quais podem, no seu parâmetro Materiais, utilizar este tipo de visualização para tornar as suas classificações mais assertivas.

### **1.3.11. LIMITES DA INVESTIGAÇÃO**

Esta investigação tem o seu foco no âmbito da análise do grau de sustentabilidade dos materiais. Por definição excluem-se áreas urbanas, edifícios ou soluções construtivas compostas.

Constatou-se que na elaboração da ferramenta existiam lacunas nas bases de dados de origem nacional para o preenchimento dos parâmetros. Para o efeito foram utilizadas bases de dados alemãs de cariz público.

Pelo facto de esta área estar em constante evolução tecnológica, designadamente no que concerne aos aspetos físico/químicos dos materiais, afigura-se pertinente considerar que existem limites atuais que podem ser obviados e devidamente tratados no futuro.

### 1.3.12. INSTRUMENTOS DE PESQUISA

A investigação utilizará os seguintes instrumentos para efeitos de pesquisa, de obtenção de dados e de análise da informação recolhida:

- Bibliotecas especializadas públicas e privadas como forma de acesso a bases de dados eventualmente não disponíveis na internet. Por exemplo: Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Lisboa; Gulbenkian, Universidade Lusíada, Ordem dos Arquitetos, Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Universidade do Minho, HTW- Hochschule für Technik und Wirtschaft, etc.;
- Artigos em publicações periódicas de carácter científico – Essenciais para elaborar Estado da Arte. Por exemplo: Journal of housing and the built environment; Journal of Urban and Environmental Engineering; International journal of geographical information science; Earthwise, do British Geological Survey, Human and Ecological Risk Assessment; Journal of environmental planning and management; The International Society of Environmental Forensics; Agriculture ecosystems & environment; Holos Environment; The journal of architecture; Journal of architectural and planning research;
- Bases de dados. Instituições estatais e internacionais.
- Internet – acesso rápido e abrangente à temática em estudo. Motores de busca: Science Direct; Google Scholar; SpringerLink; Web of Science; Academic Search Premier; COPAC; Scirus.



#### **1.4. ESTRUTURA DA TESE:**

Esta dissertação divide-se em seis capítulos. O Capítulo I inclui a introdução à temática desta investigação, ilustrando a sua pertinência, os objetivos a que se propõe, o seu âmbito, e ainda a metodologia de investigação utilizada.

O enquadramento é efetuado no Capítulo II, incidindo sobre o conceito de sustentabilidade, a sua definição e evolução histórica, bem como o impacte e influência dos materiais de construção no desenvolvimento da Sustentabilidade. Para além de enquadrar estas duas temáticas, este capítulo clarifica ainda quais as formas de avaliação de grau de sustentabilidade que existem para o ambiente construído.

No Capítulo III far-se-á o levantamento do Estado da Arte de ferramentas de avaliação de grau de sustentabilidade existentes, salientando a sua moldura legal tanto a nível nacional como internacional. Será feita a distinção entre os diversos tipos de ferramentas, designadamente as de análise de ciclo de vida, os rótulos ecológicos, as ferramentas de checklist, os métodos de avaliação de materiais, culminando numa análise comparativa entre os diversos tipos de ferramenta.

O Capítulo IV contém o principal contributo desta investigação, ou seja, a construção do modelo teórico reformulando a ferramenta considerada anteriormente mais apta aos objetivos da investigação. A ferramenta existente será revista, criticada e complementada, resultando numa versão mais evoluída, face aos défices evidenciados na análise do Capítulo III. Serão minuciosamente definidos o objetivo da ferramenta, o seu âmbito, o tipo de informação que é colhida, a organização dos dados, a sua normalização, ponderação, classificação em categorias, a formulação dos indicadores (ambiental, económico, e conforto humano), e finalmente a formulação e representação dos resultados. Ainda neste capítulo serão desenvolvidos os parâmetros para cada indicador, com a indicação das fontes dos dados, visando tornar o manuseamento da ferramenta mais prática e transparente.

A comprovação experimental da ferramenta será feita no Capítulo V. A ferramenta irá avaliar 10 materiais de isolamento térmico diferentes (Poliestireno extrudido, poliestireno expandido, poliuretano, linho, cortiça, fibra de madeira, celulose, lã de rocha, espuma de vidro e silicato de cálcio), para demonstrar a sua aplicabilidade à escala dos materiais.

O último, Capítulo VI, desenvolve a discussão e as conclusões da investigação, dividindo-se em conclusões específicas, conclusões gerais e perspectivas de desenvolvimento.

Notas: Esta tese é redigida conforme o Acordo Ortográfico de 1990 e convertida pelo Lince.

A Formatação corresponde à Norma NP 405.



## CAPÍTULO II | ENQUADRAMENTO

*“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”*

Lavoisier

<b>2.1. Introdução</b>	49
<b>2.2. O que é Sustentabilidade?</b>	50
2.2.1. O Conceito de Sustentabilidade e o seu desenvolvimento histórico	50
2.2.1.1. Autores e Jornais influentes no conceito de sustentabilidade	66
2.2.2. Consciencialização ambiental e o seu desenvolvimento histórico	67
2.2.3. A crise ambiental e económica	76
<b>2.3. O papel dos Materiais na Arquitetura</b>	81
2.3.1. Qual a importância dos materiais para a Arquitetura?	81
2.3.2. O que é um material sustentável?	84
<b>2.4. Ferramentas de Avaliação de Grau de Sustentabilidade</b>	88
<b>2.5. Conclusão</b>	89

## 2.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo foca-se na definição do conceito de sustentabilidade sendo, para o efeito, efetuada uma observação do seu desenvolvimento histórico a nível das ciências de investigação e ainda a nível político. Serão salientados os marcos históricos da sua evolução e os principais objetivos, autores, instituições, conferências e acordos internacionais que marcaram a atual visão sustentável (2.2.1.).

Paralelamente ao conceito de sustentabilidade constata-se o aparecimento e desenvolvimento da consciencialização ambiental, a qual será descrita historicamente, e enumeradas as principais obras que propiciaram esta mudança (2.2.2.).

Seguidamente o conceito de sustentabilidade será colocado em perspetiva com conceitos anteriores e com os problemas relacionados com as crises ecológicas e ambientais contemporâneas (2.2.3.).

O conceito de sustentabilidade pode aplicar-se a todas as áreas da vida humana. Esta investigação irá apenas olhar para os materiais de construção, sendo para tal analisada, em primeiro lugar, qual a importância dos materiais para a arquitetura. Serão descritas motivações e preocupações de ilustres arquitetos no que aos materiais concerne, desde os mais antigos até aos arquitetos contemporâneos, como por exemplo Vitruvio, Alberti, Frank Lloyd Wright e Peter Zumthor, entre outros. Os seus testemunhos serão tidos em consideração para os parâmetros do modelo teórico da ferramenta a desenvolver (2.3.1.).

Será ainda feita a fusão do conceito de sustentabilidade com os materiais, dando resposta à pergunta: O que é um material sustentável? Para esta resposta serão cruzadas as premissas identificadas anteriormente (2.2.) com outras definições elaboradas por outros autores (2.3.2.).

A compreensão de qual o instrumento com que se pode analisar o grau de sustentabilidade de um material será aclarada em 2.4., onde será feita referência às ferramentas existentes, pese embora tratar-se de uma abordagem superficial, a qual será posteriormente aprofundada no Capítulo III.

## 2.2. O QUE É SUSTENTABILIDADE?

### 2.2.1. O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE E O SEU DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO.

O conceito de Sustentabilidade surgiu segundo Ulrich Grober em 1713 com Hans Carl von Carlowitz (Fig. nº5), no seu livro *Sylvicultura Oeconomica*, quando este descreveu a falta de madeira na Europa devido à devastação massiva (GROBER, 1999).



Figura 5: Carl von Carlowitz. Fonte: <http://www.agenda21-treffpunkt.de>

Carlowitz desenvolveu um pensamento semelhante ao triângulo de Sustentabilidade (Fig. nº6) que incorpora as componentes ecológica, económica e social. A sua crítica à forma de pensar da sociedade da sua época, que transformava florestas em campos e prados para a obtenção de lucros a curto prazo, apelou ao estudo aprofundado da natureza e da sua forma de funcionar no sentido de se poder agir em conformidade e não contra esta. Ele foi o primeiro a usar a palavra sustentável: “A maior arte/ciência/indústria, é estabelecida nas terras locais baseando-se nelas... para se obter uma conservação e cultivo de madeira... com um uso contínuo e **sustentável**... é um assunto indispensável... sem o qual o país não pode existir.” (tradução própria, texto original <sup>1</sup>)



Figura 6: Triângulo que forma o conceito de Sustentabilidade. (Fonte própria)

<sup>1</sup>„Wird derhalben die größte Kunst/Wissenschaft/Fleiß und Einrichtung hiesiger Lande darinnen beruhen...wie eine sothane Conservation und Anbau des Holtzes anzustellen...daß es eine kontinuierliche beständige und **nachhaltende** Nutzung gebe...weiln es eine unentberliche Sache ist...ohne welche das Land in seinem Esse nicht bleiben mag.“ Fonte: Carl von CARLOWITZ, *Sylvicultura Oeconomica*, 1713, , pp. 105-106.

Segundo Grober o conceito de sustentabilidade reapareceu em 1757, por Wilhelm Gottfreid Moser, que publicou os princípios *Forst-Oeconomie* (ecologia florestal) apelando a uma economia sustentável (GROBER, 1999).

Ainda no século XVIII o presidente dos Estados Unidos Thomas Jefferson declara: “*Then I say the earth belongs to each generation during its course, fully and in its own right, no generation can contract debts greater than may be paid during the course of its own existence*”<sup>2</sup>. Com esta visão pioneira, Jefferson aborda esta temática quase dois séculos antes do relatório de Brundtland.

Pouco tempo depois, o economista inglês Thomas R. Malthus publica, no *Essay on Population* (1798), a relação entre o crescimento da população e a disponibilidade dos recursos naturais: “*population increases in a geometric ratio, while the means of subsistence increases in an arithmetic ratio... the population level cannot keep increasing without, at some point, pressing on the limits of the means of subsistence, and that a check of some kind or other must, sooner or later, be opposed to it*”<sup>3</sup>.

Em meados do século XIX o conceito evoluiu até ao denominado *sustained yield forestry*, tanto na Europa como nos Estados Unidos e na Rússia. A transformação do *sustained yield forestry* para o *sustainable development*, formalizado nos Braintrusts da ONU (Organização das Nações Unidas), deu-se no século XX, quando nos anos 70 se começaram a sentir os constrangimentos da globalização.

A Sustentabilidade é claramente o conceito chave deste milénio, atuando sobre os setores económico, ecológico e social.

<sup>2</sup> Thomas JEFFERSON, *Popular Basis of Political Authority*, Chapter 2, 1789, Papers 15:392—97

<sup>3</sup> Thomas MALTHUS, *Essay on Population*, 1798, pag. 7

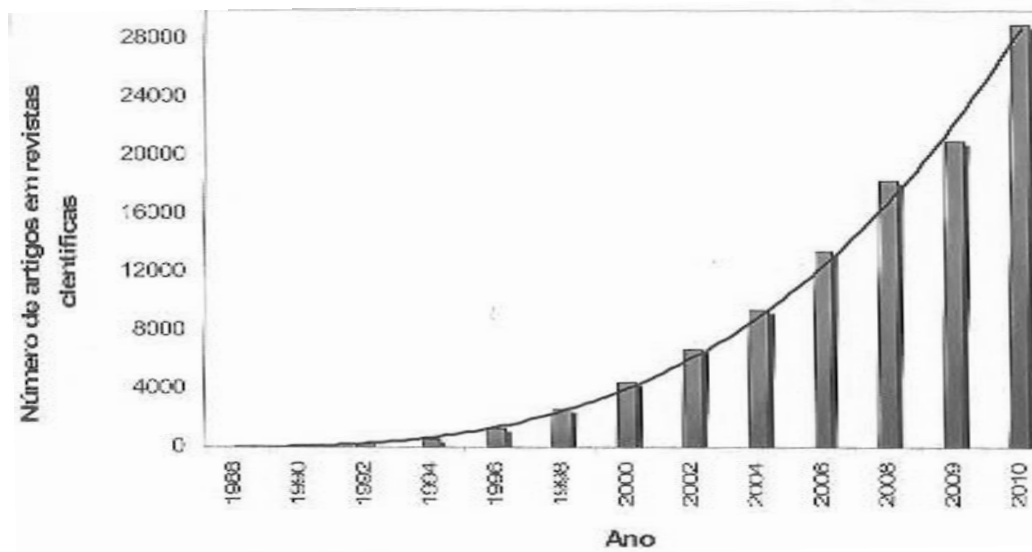


Figura 7: Gráfico da evolução do número de artigos em revistas internacionais contendo as palavras “Desenvolvimento sustentável” no título, no resumo ou nas palavras-chave.  
(Fonte: TORGAL, 2011)

A figura anterior (Fig. nº7) demonstra a evolução do número de artigos em revistas internacionais contendo as palavras “desenvolvimento sustentável” no título, no resumo ou nas palavras-chave. Constata-se um aumento exponencial na última década, facto que evidencia um direccionamento da comunidade científica para este tema.

No entanto registam-se, mesmo antes dos anos 70, os primeiros acontecimentos relacionados com a proteção da natureza: em 1948 foi criada a primeira instituição internacional denominada *International Union for Conservation of Nature* (IUCN); em 1949 houve a *United Nation Scientific Conference on the Conservation and utilization of resources*; em 1954 e 1964 a *World Population Conference* e em 1968 a *Biosfere Conference*.

Uma obra marcante para o desenvolvimento sustentável, publicada nos anos 60, foi a chamada *The Silent Spring*, escrita por Rachel Carson. A maior contribuição desta obra foi a consciencialização pública de que a natureza é vulnerável à intervenção humana porquanto, à data, pouco se debatia sobre problemas de conservação, não havendo consciência de que muitas espécies estavam em vias de extinção. Mas o alerta de Rachel Carson era demasiado assustador para ser ignorado: a contaminação de alimentos, a morte de espécies inteiras, os riscos de



cancro e de alteração genética. Assim, pela primeira vez, surgiu a necessidade de discutir a regulamentação da produção industrial por forma a proteger o meio ambiente.

Nos anos 70 foram feitas várias convenções internacionais tais como:

1971 - *Ramsar Convention*

1972 - *World Heritage Convention*

1972 - *Convention on the Prevention of Marine Pollution Dumping of Wastes and Other Matter*

Em 1972, um ano de vários acontecimentos importantes, foi apresentado, pelo Clube de Roma, o relatório com o título *The Limits to Growth*, o qual aborda problemas do futuro desenvolvimento da humanidade tais como energia, poluição, saneamento, saúde, ambiente, tecnologia e crescimento populacional.

Nesse mesmo ano realizou-se a Conferência da ONU sobre o Ambiente Humano em Estocolmo, a qual originou uma discussão entre países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento sobre questões ambientais globais e o desenvolvimento, tendo como resultado o Programa para o Meio Ambiente, o UNEP (*United Nations Environment Programme*). Este programa prevê um conjunto de conferências sobre a alimentação, a habitação, a população, os direitos humanos e das mulheres, e, a forma de interação humana com o ambiente (RAMOS, 2010).

Na cidade Cocoyok no México realizou-se, em 1974, a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento, a qual se focou numa nova perceção da relação entre a sociedade e o meio ambiente, assumindo a existência de limites ambientais e sociais para o desenvolvimento económico. Esta declaração contribuiu para a discussão sobre o desenvolvimento e o meio ambiente, destacando-se as seguintes hipóteses: a) a explosão populacional tem como uma das suas causas a falta de recursos de qualquer tipo - a pobreza gera o desequilíbrio demográfico; b) a destruição ambiental em África, na Ásia e na América Latina é também o resultado da pobreza que leva a população carente à sobreutilização dos solos e dos recursos naturais; c) os países industrializados contribuem para os problemas do subdesenvolvimento devido ao seu nível exagerado de consumo (BRUSEKE, 1998 cit. por RAMOS, 2010). Não existe apenas um mínimo de recursos necessários para o bem-estar do indivíduo; existe também um máximo. Os países industrializados deveriam diminuir o seu consumo

e a sua participação desproporcional na poluição da biosfera, uma vez que o fracasso da sociedade mundial em conseguir atingir um nível de desenvolvimento que possibilitasse o bem-estar global não é, especificamente, causado por qualquer carência presente de recursos, mas pela deficiente distribuição e utilização dos recursos disponíveis, seja do ponto de vista económico, seja do ponto de vista social. (RAMOS, 2010).

1975 foi o ano em que foi publicado o Relatório da Fundação Dag-Hammarskjöld, na Suécia. Este relatório, que analisa o abuso de poder e sua interligação com a degradação ecológica, acaba por aprofundar as posições de Cocoyok. O Relatório Dag-Hammarskjöld reparte com a Declaração de Cocoyok o otimismo baseado na confiança de um desenvolvimento a partir da mobilização das próprias forças (*self-reliance*), o reconhecimento de que o mundo é um espaço fechado, finito, com uma limitada capacidade de sustentação, que impõe ações, concertadas entre si, por parte dos estados-nação para que ganhem validade. Os dois relatórios compartilham também o facto de serem rejeitados pelos governos dos países industrializados e pelos cientistas e políticos conservadores (RAMOS, 2010).

Em 1979 realizaram-se a convenção de Berna e Genebra sobre a proteção dos habitats (*Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals*) e a poluição do ar (*Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution*).

Apesar de os anos 80 terem sido uma década com menos ocorrências de política ambiental, houve no entanto alguns acontecimentos notáveis.

A IUCN (*International Union for Conservation of Nature*), juntamente com a ONU, a WWF (*World Wildlife Fund*) e a UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*), desenvolveram, em 1980, um documento estratégico sobre a conservação da natureza e o relatório Global 2000. Este concluiu que se as tendências observadas continuarem a progredir da mesma forma, o mundo em 2000 terá muito mais população, e será mais vulnerável à rutura do que o existente à data. Apesar de maior industrialização as pessoas do mundo serão mais pobres em diversos aspetos. Este documento foi atualizado em 1991 com o título *Caring for the Earth: a strategy for sustainable living*.

O chamado *Stockholm+10* ocorreu em 1982 no aniversário da conferência de Estocolmo, aprovando a *World Charter for Nature* e a *United Nations Convention on the Law of the Sea* (esta conferência teve lugar em Nairobi). Foi criada a

Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED, implementada em 1983).

Em 1983 foi publicado em Helsínquia o protocolo da ONU sobre a qualidade do ar. O ano de 1987 tornou-se uma data fulcral para o desenvolvimento sustentável, tendo sido publicado pela *World Commission on Environment and Development* o relatório de Brundtland, também conhecido por *Our common future* (Gro Harlem Brundtland era o primeiro ministro da Noruega na altura).

Este relatório definiu o conceito de Sustentabilidade da seguinte forma: o uso sustentável dos recursos naturais deve suprir as necessidades da geração presente sem afetar a possibilidade das gerações futuras de suprir as suas (Tradução própria; texto original<sup>4</sup>).

Para além desta definição reconheceu-se que os problemas ambientais eram de natureza global e determinou-se que era de interesse comum a todas as nações o estabelecer políticas para o desenvolvimento sustentável.

Este documento é o mais citado na literatura relativa ao desenvolvimento sustentável (QUENTAL, 2009), porquanto concilia os interesses ambientais dos países nórdicos com a necessidade de desenvolvimentos dos países do Sul, tentando unir o mundo inteiro em torno de um desenvolvimento sustentável comum. O documento explora os fatores que explicam o fosso crescente entre os ricos e os pobres, e tenta dar orientações para que os países possam integrar o desenvolvimento sustentável nas suas políticas. Dentro destas orientações encontram-se: conservar e melhorar a base de recursos, garantir um nível sustentável de população, reorientar a tecnologia, integrar as preocupações ambientais na tomada de decisões e fortalecer a cooperação internacional (WCED, 1987).

O relatório de Brundtland contribuiu para o sucesso da Conferência das Nações Unidas no Rio de Janeiro, em 1992, na qual se chegou a um entendimento entre 170 estados para uma política ambiental sustentável comum, com a assinatura de documentos diversos pelos líderes das nações, os quais sintetizavam as preocupações do planeta relativamente às questões ambientais.

<sup>4</sup> „Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. It contains within it two key concepts: 1. the concept of 'needs', in particular the essential needs of the world's poor, to which overriding priority should be given; and 2. the idea of limitations imposed by the state of technology and social organization on the environment's ability to meet present and future needs.“ Fonte: UNEP, *Our common future*, 1987, Chapter 2: Towards Sustainable Development; IV Conclusions.

A Agenda 21 foi o resultado desta conferência apelando a uma visão holística, a qual não abordou apenas a componente ecológica mas também a económica e a social. A Agenda 21 é uma Declaração de Princípios sobre o uso das Florestas, Convenção sobre a Diversidade Biológica e Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas sendo entendida como uma das mais abrangentes tentativas de atingir o desenvolvimento sustentável feitas até hoje. Foi ainda criada a Comissão de Desenvolvimento Sustentável para avaliar a implementação da Agenda 21.

Antes da conferência do Rio de Janeiro houve ainda alguns progressos de governação internacional:

1987 – *Protocol Substances that Deplete the Ozone Layer*

1988 – *International Panel on Climate Change*

1989 – *Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal*

1991 – *International Panel of the Global Environment Facility*

A Conferência Europeia para a sustentabilidade das cidades teve lugar em Alborg, Dinamarca, em maio de 1994. Foi o início do lançamento, junto das autoridades locais, dos pressupostos para o aparecimento da Agenda 21 Local, a campanha denominada Campanha Europeia das Cidades e Vilas Sustentáveis (CECVS) a qual teve por base o documento aprovado na conferência e que hoje é conhecido por Carta de Alborg. A Carta de Alborg representou um compromisso político para com os objetivos do desenvolvimento sustentável, podendo, entre outros, destacar-se os seguintes:

- Participação da comunidade local e obtenção de consensos,
- Economia urbana (conservação do capital natural),
- Equidade social,
- Correto ordenamento do território,
- Mobilidade urbana,
- Clima mundial,
- Conservação da natureza (COLAÇO, 2008).

Foi discutido o papel do setor da Construção Civil na procura do desenvolvimento sustentável dos países, regiões e municípios na Conferência das Nações Unidas sobre Assentamentos Humanos – Habitat II, que se realizou em 1996, Istambul, Turquia (RAMOS, 2010).

Em 1997 sucederam dois grandes acontecimentos: a Sessão Especial da Assembleia-geral das Nações Unidas (Rio+5) e o Protocolo de Kyoto.

O primeiro efetuou-se no Cairo, Egito, onde foi feita uma avaliação sobre a implementação da Agenda 21 no planeta. Os constrangimentos apontados foram os seguintes: exiguidade de recursos financeiros, aumento das dívidas externas dos países em desenvolvimento, falhas na transferência de tecnologia, redução dos níveis produtivos e consumo nos países industrializados.

O Protocolo de Quioto da UNFCCC (*United Nation Framework Convention on Climate Change*), de 1997, foi provavelmente o documento mais significativo para o desenvolvimento sustentável. Neste instrumento para o combate às alterações climáticas, os países signatários assumiram o compromisso de, no seu conjunto, reduzirem as suas emissões de gases com efeitos de estufa (GEE) até 2012.

Este protocolo propôs um calendário no qual os países membros (principalmente os desenvolvidos) tinham a obrigação de reduzir a emissão de gases do efeito estufa em, pelo menos, 5,2% em relação aos níveis de 1990, no período entre 2008 e 2012, também chamado de primeiro período de compromisso (para muitos países, como os membros da EU, isso correspondia a 15% abaixo das emissões esperadas para 2008). As metas de redução não eram análogas para todos os países, atribuindo níveis diferenciados aos 38 países que mais gases emitem. Países em franco desenvolvimento (como Brasil, México, Argentina e Índia) não receberam metas de redução. Sendo o segundo maior emissor de gases com efeito de estufa, com 5,8 milhares de milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) emitidos, os Estados Unidos negaram-se a ratificar o Protocolo de Quioto, segundo a alegação do ex-presidente George W. Bush de que os compromissos decorrentes de tal protocolo interfeririam negativamente na economia norte-americana. Atualmente o maior emissor de gases com efeito de estufa é a China, com 6,2 milhares de milhões de toneladas emitidos. Enquanto país em vias de desenvolvimento, o gigante asiático viu o Protocolo de Quioto poupar-lhe esforços na redução de CO<sub>2</sub>. O Protocolo de Quioto estabeleceu que a União Europeia, como um todo, estava obrigada a uma redução das emissões de gases com efeito de estufa de 8% em relação às verificadas em 1990.

O ano 2000 foi marcado pela *Millenium Declaration*, a qual formula como valores essenciais para a governação internacional do século XXI a paz, a igualdade, a solidariedade, a tolerância, o respeito e responsabilidades partilhadas.

Em 2002 houve novamente uma conferência internacional, desta vez realizada em Joanesburgo, a chamada *World Summit on Sustainable Development* (WSSD) ou Rio+10 organizada pela ONU, com a participação de centenas de chefes de estado e de outras organizações, considerada o maior evento organizado pela ONU. Nesta conferência foram também publicadas declarações e um plano de implementação. O principal objetivo era o de implementar e de desenvolver mecanismos que pusessem em prática as premissas da conferência de Rio'92. Ramos (2010) considera este encontro o menos profícuo dos grandes encontros globais.

Em dezembro de 2008, os dirigentes da UE deram um passo decisivo com a aprovação de um ambicioso pacote de medidas que visava reduzir, em pelo menos 20%, as emissões de gases com efeito estufa até 2020 (em comparação com níveis de 1990), aumentar a quota de mercado da energia de fontes renováveis para 20% e fazer baixar em 20% o consumo total de energia (em comparação com as tendências projetadas). Para fomentar uma maior utilização de energias renováveis, ficou igualmente acordado que os biocombustíveis, a eletricidade e o hidrogénio deveriam representar 10% da energia utilizada nos transportes. Visto que o protocolo de Quioto expirou em 2012, houve a necessidade de realizar um novo acordo climático que o pudesse substituir (TEIXEIRA, 2010).

Seguiu-se portanto a Conferência de Copenhaga em 2009, que por sua vez não obteve resultados similares, porquanto os países apenas se comprometeram com percentagens individuais. A UE comprometeu-se com uma redução de 20% até 2020 (relativamente aos dados de 1990), os EUA assumiram um compromisso de 17% até 2010 (relativamente aos dados de 2005), enquanto que a Índia e a China não aceitaram a redução das suas emissões totais, mas sim uma redução na intensidade de carbono (carbono/unidade de riqueza) entre 40-45% para a China e 20-25% para a Índia até 2020. Estas medidas foram alvo de fortes críticas, por serem claramente insuficientes, sendo que o mínimo para se obter uma estabilização da concentração de carbono na atmosfera seria um valor da ordem de 25% (TORGAL, 2011).

A 28 de janeiro de 2010, numa carta conjunta da Presidência Espanhola do Conselho e da Comissão Europeia, a União Europeia formalizou o seu apoio ao Acordo de Copenhaga sobre Alterações Climáticas e apresentou os seus compromissos relativos aos objetivos de redução das emissões estabelecidos para 2020.

Estes objetivos consistiam num compromisso unilateral de redução de 20% das emissões gerais da UE relativamente aos níveis de 1990 e numa oferta condicional de aumento dessa redução para 30% desde que outros grandes países emissores concordassem em assumir a sua parte equitativa num esforço mundial de redução das emissões. No desfecho desta conferência não foi celebrado um acordo vinculativo de redução das emissões de dióxido de carbono a curto prazo e também não foi celebrado um acordo vinculativo de redução de 50% das emissões a longo prazo. O Acordo não foi vinculativo e apenas reconheceu a necessidade de evitar que as temperaturas aumentassem mais de 2°C. Os países desenvolvidos comprometeram-se a contribuir com 30 mil milhões de dólares norte-americanos entre 2010 e 2012, para apoio climático aos países em desenvolvimento. Os países em desenvolvimento concordaram, pela primeira vez, em participar nos esforços de mitigação das alterações climáticas e demonstraram disponibilidade para que os seus esforços fossem sujeitos a supervisão internacional (TEIXEIRA, 2010)

Na área de divulgações ambientais importantes e acordos de organizações internacionais para a sustentabilidade em arquitetura e desenvolvimento urbano é ainda importante referir (EBERT, 2010):

1993 – *The Declaration of Interdependence for a Sustainable Future UIA/AIA World Congress for Architects* em Chicago;

2007 – *THE ACE Policy on Environment and Sustainable Architecture, Architects' Council of Europa*;

2007 – *The Leipzig Charter on Sustainable European Cities*;

2008 – *The Council Conclusions on Architecture: Culture's Contribution to Sustainable Development, European Forum for Architecture Policies* (EFAP-FEPA).

Em Portugal, a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS 2015-Resolução do Conselho de Ministros nº 112/2005) incorpora sete objetivos principais, os quais, por sua vez, adotam uma visão holística para o desenvolvimento sustentável:

1. Preparar Portugal para a “Sociedade do Conhecimento”,
2. Crescimento Sustentado, Competitividade à Escala Global e Eficiência Energética,
3. Melhor Ambiente e Valorização do Património,
4. Mais Equidade, Igualdade de Oportunidades e Coesão Social,
5. Melhor conectividade Internacional do País e Valorização Equilibrada do Território,
6. Um Papel Ativo de Portugal na Construção Europeia e na Cooperação,
7. Uma Administração Pública mais Eficiente e Modernizada.

Esta estratégia visava assegurar, num horizonte de 12 anos, um crescimento económico célere e vigoroso, uma maior coesão social e, um elevado e crescente nível de proteção e valorização do ambiente. A avaliação e execução desta ENDS-2015 são asseguradas pelo Plano de Implementação da ENDS-2015 (Resolução do Conselho de Ministros nº 109/2007), com base em Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (SIDS).

Porém constata-se que os resultados práticos dos princípios preteritamente enunciados ficaram muito aquém do que seria expectável, porquanto não foram transpostos para medidas concretas. As poucas iniciativas na área da construção, como seja a obrigatoriedade de implementação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), afiguram-se insuficientes perante a magnitude das necessidades do desenvolvimento sustentável e do respetivo normativo legal.

Em suma, a implementação do conceito de Sustentabilidade implica uma transformação substancial do modelo de vida existente porquanto os seus princípios implícitos apelam a uma mudança para a eficiência, minimizando os desperdícios. Produzir mais com menos é a chave para este novo paradigma, sendo que, para isto ser possível, é necessário melhorar os modelos tecnológicos existentes, promovendo processos como o reuso e a reciclagem.

O desenvolvimento sustentável é portanto uma proposta, pós modernista, saída da reflexão referente às consequências atuais e futuras da sociedade



industrializada, que cada vez mais se muda para os serviços e para o terciário (COLAÇO, 2008). Esta tendência, que era percecionada à data, tem atualmente infletido para outros setores.

Concomitantemente, esta temática pode ser abordada do ponto de vista da Pegada Ecológica, a qual se define da seguinte forma: uma medida da quantidade de solo ou água biologicamente produtivos que um indivíduo, cidade, país ou região usa para produzir os produtos que consome e para absorver os resíduos que gera, utilizando a tecnologia e os esquemas de gestão de recursos atuais (Cit. por AUGUSTO, 2008; texto original<sup>5</sup>).

Este conceito, que é globalmente utilizado como um indicador de sustentabilidade ambiental, e a respetiva metodologia foram elaborados por Mathis Wackernagel na sua tese de doutoramento sob orientação do professor William Rees em 1994, na *University of British Columbia* em Vancouver, Canadá.

Entre a prolífica literatura de ambos destaca-se o livro chamado *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth* (1996). A seguinte figura (Fig. nº8) ilustra um gráfico que traduz a pegada ecológica de várias zonas do planeta. Identifica-se claramente que a América do Norte ultrapassa a sua bio-capacidade, tal como a Europa EU-25, o Médio Oriente, a Ásia Central e a Ásia – Pacífico.

Para além do gráfico ser datado de 2003, avulta o facto de apenas a América Latina, o Caribe e os países da Europa que até à data não pertenciam à UE25 não terem esgotado a bio-capacidade disponível do seu território, sendo que, provavelmente, os valores atuais serão superiores.

<sup>5</sup> „It represents the amount of biologically productive land and sea area needed to regenerate the resources a human population consumes and to absorb and render harmless the corresponding waste.“ Fonte: William REES et. al, *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth* 1996, p.9.

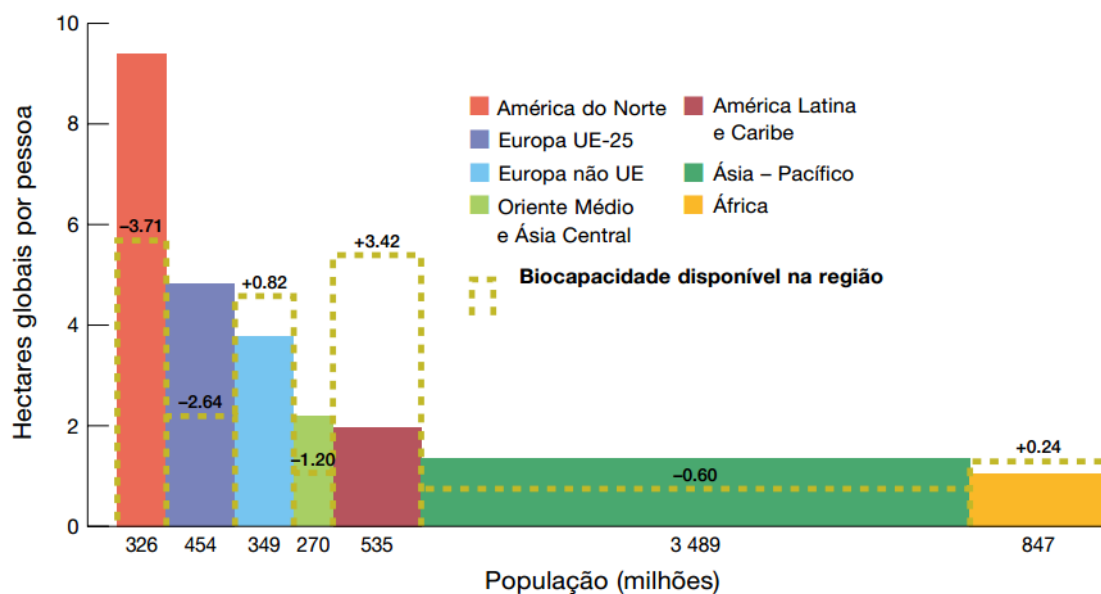


Figura 8: Gráfico da Pegada ecológica por região. (Fonte: LOH et.al., 2006)

Segundo Loh e Goldfinger (2006), se continuarmos na nossa trajetória atual, até mesmo as previsões mais moderadas das Nações Unidas relativas à mudança do consumo de alimentos e fibras e das emissões de CO<sub>2</sub>, sugerem que, em 2050, a humanidade utilizará o equivalente a mais de dois planetas.

Este incremento excessivo coloca em risco não só a biodiversidade, como também destrói os ecossistemas e a sua capacidade de fornecer recursos e serviços dos quais a humanidade depende. A alternativa consiste inelutavelmente em eliminar o excesso. A redução da pegada global da humanidade é um fator essencial, sendo que o aumento da produtividade dos ecossistemas também contribui para este objetivo.

A figura nº9 é a projeção de Loh e Goldfinger (2006) que identifica a relação entre a bio-capacidade do planeta (em bilhões de hectares) e a nossa pegada ecológica até ao ano 2100. Consta-se que a bio-capacidade já foi ultrapassada entre 1980 e 1990, e que a tendência é aumentar o excedente. É também visível a pegada ecológica desejada (vermelho tracejado), a qual vai baixando até estabilizar a um nível sempre inferior ao nível da bio-capacidade existente.

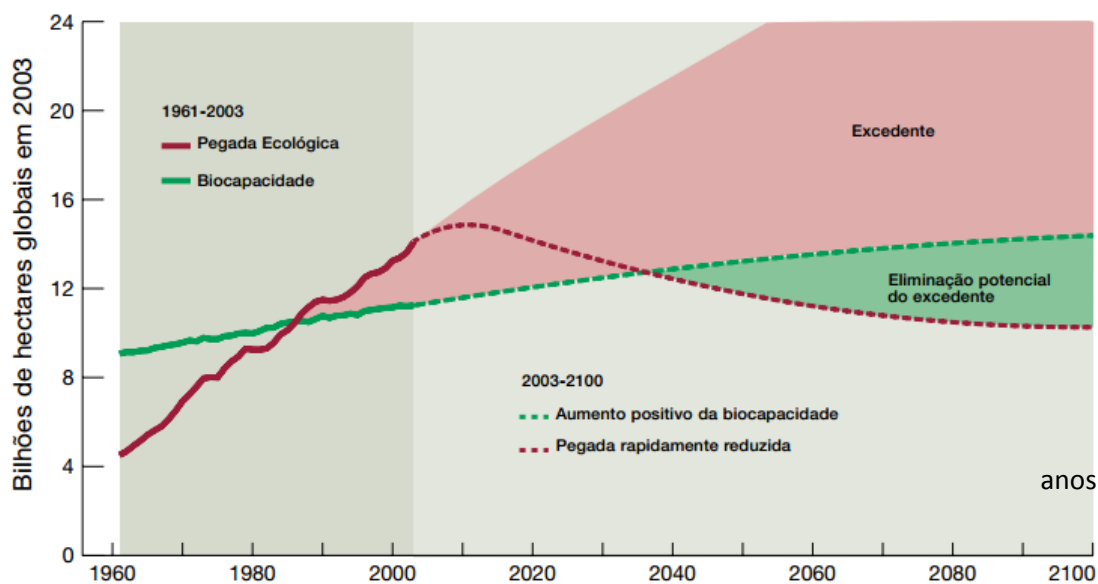


Figura 9: Gráfico de eliminação de excedente global. (Fonte: LOH et.al., 2006)

Sendo patente a indispensabilidade do desenvolvimento sustentável e da implementação de medidas que façam frente às problemáticas ambientais e socioeconómicas (alterações climáticas, necessidades energéticas, poluição, escassez de água, desigualdade social, pobreza, etc.), pretende-se contribuir para esse mesmo desenvolvimento através da investigação e divulgação de uma ferramenta que ajude na tomada de decisões no ato do projeto.

Loh e Goldfinger (2006) apresentam o seguinte esquema (Fig. nº10) o qual ilustra como catalisar a transição para a Sustentabilidade. Não obstante ser um ciclo fechado, deve-se começar por identificar e compreender o problema, definir objetivos, para seguidamente planear estratégias e desenvolver um plano de ação, o qual será implementado como próximo passo. O ciclo não termina aqui, porquanto ainda é necessário estabelecer a monitorização da implementação para avaliar os resultados e compará-los com os objetivos. Duas possibilidades podem ocorrer: ou os objetivos foram cumpridos e desta forma conseguiu-se com sucesso acabar com o excesso ou, em caso negativo, ter-se-á novamente que identificar onde reside o problema e reiniciar tudo de novo.

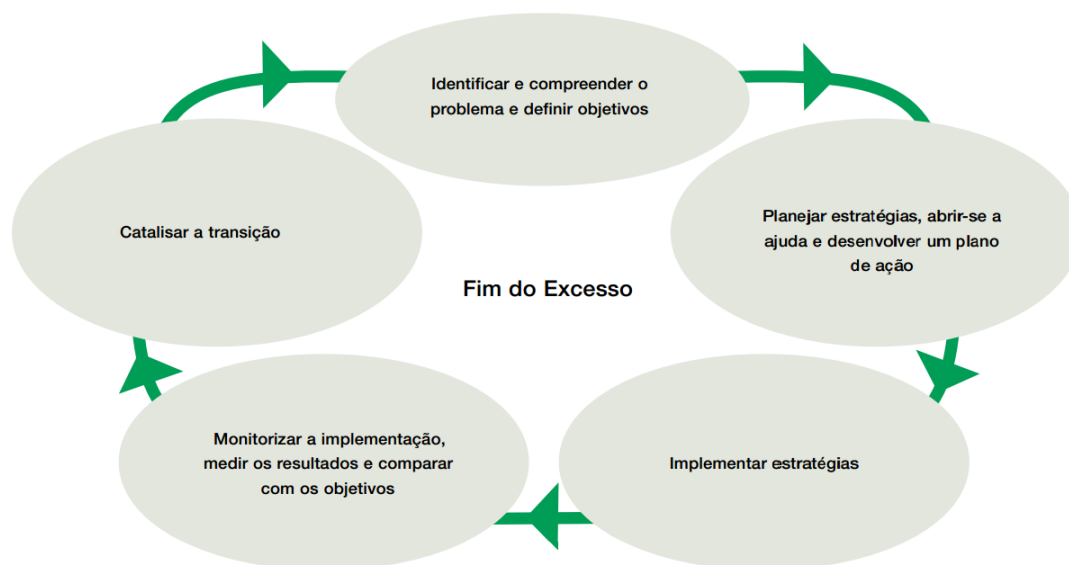


Figura 10: Esquema - Como catalisar a transição para a sustentabilidade.  
(Fonte: LOH et.al., 2006)

As abordagens científicas contemporâneas à Sustentabilidade são expostas, por Nuno Quental (2009), da seguinte forma:

1. Apesar de ter começado por uma visão estática de limites ambientais e impactes do ser humano sobre a natureza, a abordagem de sustentabilidade tem evoluído para uma visão dinâmica e integrativa. A bio-capacidade, pelo facto de ser um sistema sócio-ecológico que não pode ser analisado em separado, pode porém ser aumentada através de avanço tecnológico ou de uma gestão mais eficiente. Conceitos específicos como o risco, resiliência e vulnerabilidade têm sido propostos para transmitir este raciocínio.
2. As questões relativas à Sustentabilidade evoluíram de uma situação de ênfase sobre os impactos humanos e disponibilidade de recursos naturais para uma posição mais equilibrada, que coloca o foco sobretudo na liberdade humana e no capital social. As configurações económicas e institucionais são cada vez mais valorizadas, devido aos seus instrumentos facilitarem o desenvolvimento sustentável.
3. Presentemente a Sustentabilidade não é vista apenas como um estado final mas sim como um processo transitório para os objetivos lançados. O conceito é incluído nas prioridades políticas, ampliando, a ciência, a sua relação com a sociedade.

4. O conceito de Sustentabilidade não é apenas vago na sua definição como vasto no seu âmbito e ainda se afigura estar dividido por duas lógicas principais. Se, por um lado, a Sustentabilidade significa proteger a natureza e desenvolver direitos humanos incorporando uma vasta gama de objetivos, por outro lado, em contraste com múltiplos objetivos, a ciência da Sustentabilidade tornou-se hoje em dia uma área específica de estudo que abarca e agrupa diversas disciplinas. Ou seja, a Sustentabilidade é intrínseca a várias disciplinas, mas também é uma disciplina em si, integrando múltiplas contribuições.

Esta proposta de investigação visa contribuir para este processo, inserindo-se nas fases de identificação e compreensão da problemática, a definição do objetivo, o planeamento de estratégias, o desenvolvimento de um plano de ação, e finalmente contribuir para a implementação destas mesmas estratégias.

A problemática é, neste caso, a forma insustentável de projetar e viver, sendo o objetivo subsequente a inversão desta tendência, utilizando como estratégia a criação de uma ferramenta de avaliação de grau de sustentabilidade para melhorar as opções de projeto, sendo expectável contribuir desta forma para o desenvolvimento sustentável.

No âmbito desta pesquisa será evidenciado o papel dos materiais de construção no contexto do desenvolvimento sustentável. A primeira questão que, apesar de pouco consensual, interessa prevenir é a possibilidade de ocorrer um esgotamento das matérias-primas não renováveis. Para além deste impacto, ainda se colocam as questões relativas aos impactos ambientais provocados pela extração, mormente a destruição da biodiversidade nos locais de extração, e ainda, a quantidade e tipo de resíduos que são emitidos.

Pela magnitude dos seus impactos ambientais torna-se imperioso agir no setor da construção no sentido de se reduzirem os consumos de materiais e as emissões de carbono (TORGAL, 2011).

Relativamente a este novo paradigma (ALMEIDA, 2002) *“diz-se que a ideia é de integração e interação, propondo uma nova maneira de olhar e transformar o mundo, baseada no diálogo entre saberes e conhecimentos diversos. No mundo sustentável, uma atividade – a economia, por exemplo – não pode ser pensada ou praticada em separado, porque tudo está inter-relacionado, em permanente diálogo”*<sup>6</sup>.

<sup>6</sup>William ALMEIDA, *O bom negócio da sustentabilidade*, 2002, p.9.

#### 2.2.1.1. AUTORES E JORNAIS INFLUENTES NO CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE

Segundo o estudo de Quental (2009) estes são os autores institucionais mais citados (no intervalo temporal entre 2001 e 2005): WCED, *World Bank*, *European Comission*, *UK's Department of the Environment, Transport and Regions*, IPCC, ONU, OECD, *Food and Agriculture Organization*, IUCN e *Worlds Health Organization*.

No que concerne os autores individuais com formações em economia, Quental (2009) identifica, como mais citados, os seguintes: Pearce, David; Daly, Herman; Constanza, Robert; Ayres, R., Solow, R., Norgaard, R.. Os autores identificados com formação em ciências ambientais são: Meadows, D., Brown, L. e Wackernagel, M.. Na área da ecologia, Quental (2009) identifica: Holling, Crawford; Fearnside, Philip; Rees, William e Berkes, Fikret. Destacam-se ainda Redclift, Michael na área da sociologia e O'Riordan, Timothy nas ciências políticas.

Os jornais relevantes, que foram citados em *papers* contendo no seu título, palavras-chave, ou no seu resumo as palavras “*sustainable development*” ou “*sustainability science*”, são: Ecological Economics, Science, Nature, World Development, Conservation Biology, Ambio, Enery Policy, Environmental Conservation, Bioscience, Environmental management, Global Environmental Change, American Law and Economics Review, Agricuiltre, Ecosystems & Environment, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, Climatic Change, Ecological Aplications, Environment and Planning A, Environment, Futures e Journal of Environmental Economics and Management.

A pesquisa efetuada ao Repositório Científico de Acesso Aberto a Portugal - RCAAP de autores nacionais, em que se encontra a palavra “sustentável” no título ou nas palavras-chave, revela estarem registadas 206 teses de Doutoramento e 2418 teses de Mestrado no intervalo temporal de 2007 a 2011. Por ordem de número de publicações foram listados os seguintes autores: Said Jalalai (46), Fernando Torgal (39), Rui Ramos (38), Luis Bragança (28), Humberto Varum (25), Ricardo Mateus (24), Graça Carvalho (23), José Mendes (19), Luís Quinta-Nova (18), Ana Paula Duarte (16).

Na pesquisa ao Google Académico salientam-se, ordenados pela quantidade de citações relativas a “arquitetura sustentável”, os seguintes autores: Manuel Pinheiro; Ordem dos Arquitetos, L.A. Vieira, M. Barros Filho, Ana Ramos, Graça Bachmann, Maria Inês Cabral, Nuno Leal, Hugo Santo, etc..

O seguinte gráfico (Fig. nº11) evidencia que a área da tecnologia tem vindo a aumentar a literatura relacionada com o desenvolvimento da sustentabilidade, tal como as ciências físicas e as áreas multidisciplinares. Todavia, nas áreas sociais regista-se um decréscimo.

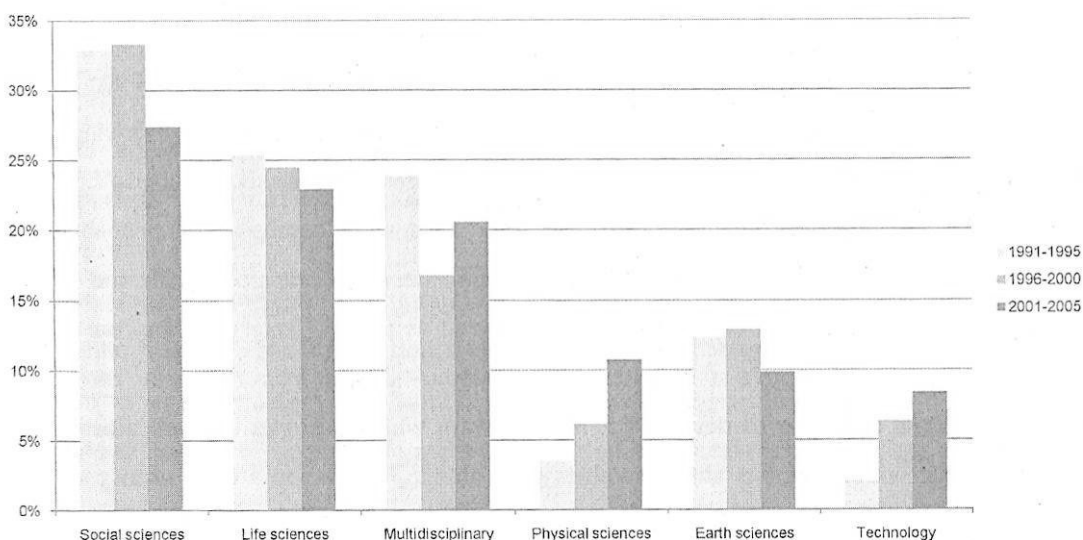


Figura 11: Gráfico da evolução das contribuições literárias de vários campos científicos sobre o desenvolvimento sustentável. (Fonte: QUENTAL, 2009)

### 2.2.2. A CONSCIENCIALIZAÇÃO AMBIENTAL E O SEU DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO.

O processo de consciencialização ambiental é um fenómeno relativamente recente na história da humanidade. A insatisfação ambiental é um processo que acompanha a história desde a sua origem e foi a causa primordial que levou o homem a alterar as circunstâncias ambientais que o rodeavam.

Na prossecução desse objetivo o Homem foi construindo alojamentos, inventando a agricultura, extraindo os metais, etc., sendo que, até à revolução industrial, esta

progressiva modulação das realidades ambientais às necessidades e desejo do ser humano implicou algumas crises ambientais localizadas, mas não interferiu com equilíbrio planetário (MACEDO, 2010).

Desde os primórdios da industrialização que se regista um aumento populacional a nível mundial, o qual se concentra exclusivamente em áreas urbanas, seus arredores e nas zonas litorais. A forte exploração de recursos naturais para a construção necessária ao incremento demográfico modificou o estilo de vida, provocando consequências a nível ambiental. As preocupações relativas ao ambiente natural e às questões ecológicas relacionadas com o modelo existente de interação e exploração dos recursos naturais estão cada vez mais patentes na opinião pública. Às dificuldades sociais e económicas atuais acresce o avolumar das críticas ao modelo de vida existente e à organização social, emergindo consequentemente o conceito de Sustentabilidade.

As obras mais significativas para a consciencialização (ver ANEXO I):

- **Jean Antoine N. Caritat – Marquês de Condorcet - Esboço de um quadro histórico dos progressos do espírito humano** [*Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain* (1795)]

O livro é marcado por um profundo otimismo e por uma fé inquebrantável no progresso humano, mesmo tendo sido escrito numa situação política e pessoal de extremas inquietações e temores. Não só a civilização é um estágio superior à barbárie, mas o próprio processo civilizacional é encarado como uma sucessão de etapas, em evolução permanente. A chave desse progresso seria o predomínio da razão humana e sua vitória sobre o preconceito, o fatalismo, as crenças e as superstições. A liberdade de pensar e agir seriam as condições essenciais do progresso da razão e, por conseguinte, da civilização. Condorcet afirmava que a natureza e o mundo social (cultura) podem ser transformados através da ação racional dos homens e mulheres, visando a construção um mundo mais justo, feliz e rico. Assim, o desenvolvimento das ciências, das artes, da literatura e as revoluções políticas contra os antigos regimes (monarquias absolutistas) seriam os marcos iniciais da superação das mazelas que aprisionavam o potencial de aperfeiçoamento humano. Existiria, também, uma correspondência entre o desenvolvimento da razão e o desenvolvimento da existência material e social dos seres humanos. Se uma melhor condição de vida é o resultado do aperfeiçoamento dos ideais da razão, então, o progresso dos povos e das nações dependeria do progresso do espírito (ALVES, 2002).



- **Thomas Malthus (1798 e 1803) – Ensaio sobre o princípio da população**

Em sentido inverso, Malthus defende que fazer desaparecer a desigualdade seria socializar a miséria, pois eliminar a pobreza estaria fora do alcance da humanidade devido ao problema da superpopulação. Malthus utiliza estes dois postulados como premissas para a seguinte lei: “... a população, quando não controlada, cresce numa progressão geométrica, e os meios de subsistência numa progressão aritmética.”<sup>7</sup> (ALVES, 2002).

- **Charles Darwin (1859) – A origem das espécies**

Charles Darwin escreveu um livro científico sobre a teoria da evolução, sendo o seu título, na primeira edição, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or The Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. Darwin observou os seguintes factos:

- Cada espécie produz descendência suficiente para que a população cresça, caso todos os descendentes sobrevivessem.
- Apesar de flutuações periódicas, as populações permanecem aproximadamente no mesmo tamanho.
- Os alimentos são limitados, a quantidade é estável.

Darwin conclui com estas observações que existe uma luta pela sobrevivência.

- Os indivíduos de cada população variam significativamente entre si.
- As diferenças são hereditárias.
- Os indivíduos que são menos bem adaptados ao seu ambiente têm uma menor probabilidade de sobreviver e têm menos filhos. Indivíduos que estão melhor adaptados ao seu ambiente têm uma maior probabilidade de sobreviver e produzem mais descendentes.

Darwin conclui com estas observações que existe uma seleção natural e que este processo lento de evolução das populações faz com que os indivíduos sejam melhor adaptados ao seu ambiente, e, que com muitas alterações no seu ambiente resultam novas espécies.

<sup>7</sup> José ALVES, *A polémica Malthus versus Condorcet reavaliada à luz da transição demográfica*, 2002, p.283.

Ele expõe não só o conceito da evolução das espécies como também a sua extinção, em suma, os limites das espécies. Pela primeira vez na história do conhecimento, a noção de extinção é abordada e comprovada cientificamente (CASTELOBRANCO, 2009).

- **Rachel Carson (1962) – *The Silent Spring***

Este livro documentou o impacto de químicos, nomeadamente pesticidas e inseticidas, no meio ambiente e os seus efeitos secundários particularmente em aves. Carson alertou que o DDT causava a diminuição da espessura das cascas de ovos, resultando em problemas reprodutivos e na morte dos animais. Também acusou a indústria química de disseminar desinformação e a sociedade de aceitar as argumentações dessa indústria de maneira pouco crítica.

- **Richard Buckminster Fuller (1963) – *Inventory of World Resources Human Trends and Needs***

Este inventário é o primeiro volume de 6 obras de Fuller, sendo o segundo documento o *The Design Initiative*, o terceiro o *Comprehensive Thinking*, o quarto o *The Ten Year Program*, o quinto o *Comprehensive Design* e por último o *The Ecological Context. Energy and Materials*. Fuller foi um dos primeiros a observar o funcionamento da natureza como uma interação sistémica contínua com princípios económicos (eficiência energética e poupança de recursos). Outro aspeto importante foi o seu apelo no sentido de envidar esforços coletivos para um bem comum.

- **Garrett Hardin (1968) – *Tragedy of the commons***

Hardin chama a atenção para problemas que não podem ser solucionados por meios técnicos, argumentando que esta classe de problemas é criada pelo crescimento da população humana e o uso dos recursos naturais da Terra. Para exemplificar o que seria sem soluções técnicas, Hardin menciona os limites colocados na disponibilidade de energia (e recursos materiais) na Terra, e também as consequências destes limites para a qualidade de vida. Para maximizar a população, é necessário minimizar o consumo de recursos em tudo o

que for além da simples sobrevivência e vice-versa. Consequentemente, ele conclui que não há solução técnica previsível, para o incremento tanto da população humana como do seu nível de vida, num planeta finito.

- **Paul e Anne Ehrlich (1968) – *The Population Bomb***

Este livro defende que a batalha de alimentar toda a humanidade terminou. Grande parte do livro descreve o estado do ambiente e da situação de segurança alimentar, que é classificado como cada vez mais terrível. Os autores sugerem que se deve controlar o aumento da população mundial, reduzindo a taxa de crescimento a zero ou até negativa. Eles sugerem que deve haver uma regulação consciente do número de seres humanos. Simultaneamente sugerem ainda, pelo menos temporariamente, o aumento da produção de alimentos e lançam ainda sugestões para alcançar estes objetivos.

- **Richard Buckminster Fuller (1969) – *Operating Manual for Spaceship Earth***

Neste livro, R. B. Fuller reedita o conceito de *Spaceship Earth*, o qual foi usado pela primeira vez por Henry George na sua obra *Progress and Poverty* em 1879. Este conceito ressurgiu em 1965 por Adlai Stevenson no seu discurso nas Nações Unidas, e, torna-se no título do livro de Barbara Ward e do artigo científico de Kenneth E. Boulding, *The Economics of the Coming Spaceship Earth*, em 1966. Este conceito incorpora preocupações com os limites físicos dos recursos naturais existentes no planeta terra, lembrando o quanto o nosso planeta é pequeno na imensidão do Universo.

- **John Alexander Loraine (1972) – *The Death of Tomorrow***

Esta publicação tornou mais clara a relação próxima entre o meio ambiente e o desenvolvimento económico equitativo.

- **Edward Goldsmith (1972) – *Blueprint for Survival***

Este artigo tornou-se um dos marcos iniciais de uma nova tendência que veio a marcar a política do movimento ecológico desde então, que é a de, além de denunciar as consequências negativas do modelo dominante, a apresentação de alternativas viáveis para os problemas ambientais (CAMARGO, 2002).

- **Club de Roma (1972) – *The Limits to Growth***

Liderado por Donella Meadows o Clube de Roma comissionou ao *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) o estudo sobre projeções futuras do planeta. Através de simulações matemáticas e a partir da construção de um modelo *standard* do mundo que incluía um vasto número de variáveis (agrupadas em recursos naturais, investimento em capital, poluição, população e indicadores de qualidade de vida), observavam as projeções de crescimento populacional, poluição e esgotamento dos recursos naturais da Terra. O modelo padrão do mundo assumia que as relações físicas, económicas ou sociais que subjaziam historicamente ao conceito de desenvolvimento se manteriam. Adicionalmente, o modelo assumiu que a população e o capital continuariam a crescer exponencialmente, conduzindo a um crescimento semelhante na poluição e na procura por alimentos e por recursos não renováveis (estas últimas duas foram consideradas variáveis fixas, não contemplando assim o progresso tecnológico, mudanças na composição do produto final ou a possibilidade de substituição). O crescimento da população e de capital deveria permitir-se continuar até atingir um limite natural. O estudo concluía que, mantidos os níveis de industrialização, poluição, produção de alimentos e exploração dos recursos naturais, o limite de desenvolvimento do planeta seria atingido em cerca de 100 anos, provocando uma repentina diminuição da população mundial e da capacidade industrial. O estudo recorria ao neo-malthusianismo como solução para o iminente colapso. As conclusões algo radicais do estudo projetaram-no para a arena de debate fora da circunscrição científica durante o final da década de 60 e princípio da década de 70. (RAMOS, 2010).

- **Lynton Keith Caldwell (1974) – *In Defense of Earth: International Protection of the Biosphere***

Nesta obra Caldwell defende a defesa da Terra devido ao comportamento não-ecológico do animal Homem.

- **UNEP – (1987) *Our common Future***

Este relatório afirma uma visão crítica do modelo de desenvolvimento adotado pelos países industrializados e reproduzido pelas nações em desenvolvimento, onde avultam os riscos do uso excessivo dos recursos naturais sem considerar a capacidade de suporte dos ecossistemas. O relatório aponta para a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo vigentes. É defendido que um determinado nível de produção terá influência na produção futura, pois pode-se estar a consumir recursos não renováveis, criar poluição irreversível ou mesmo criar poluentes com vidas longas que irão afetar as gerações futuras.

As medidas propostas para promover o desenvolvimento sustentável são entre outras:

- Limitação do crescimento populacional; garantia de recursos básicos (água, alimentos, energia) a longo prazo; preservação da biodiversidade e dos ecossistemas; diminuição do consumo de energia e desenvolvimento de tecnologias com uso de fontes energéticas renováveis; aumento da produção industrial nos países não-industrializados com base em tecnologias ecologicamente adaptadas; controle da urbanização desordenada e integração entre campo e cidades menores; atendimento das necessidades básicas (saúde, escola, moradia); adoção da estratégia de desenvolvimento sustentável pelas organizações de desenvolvimento (órgãos e instituições internacionais de financiamento); proteção dos ecossistemas supranacionais como a Antártica, oceanos, etc..
- Pela comunidade internacional: banimento das guerras; implantação de um programa de desenvolvimento sustentável pela ONU; uso de novos materiais na construção; reestruturação da distribuição de zonas residenciais e industriais; aproveitamento e consumo de fontes alternativas de energia, como a solar, a eólica e a geotérmica; reciclagem de materiais reaproveitáveis; consumo racional

de água e de alimentos; redução do uso de produtos químicos prejudiciais à saúde na produção de alimentos.

- **ONU (1992) – Agenda 21**

Este documento consiste num conjunto normativo onde se estabelece o formato para o procedimento das relações Norte – Sul para os anos subsequentes, reconhecendo-se, entre outros, o princípio da propriedade intelectual no campo da biotecnologia, mas simultaneamente conferindo o direito, aos países detentores desta mesma biodiversidade, de serem compensados e de partilharem dos avanços do desenvolvimento tecnológico.

- **Meadows et al (1992) – *Beyond the Limits***

Tal como no relatório de 1972, a maioria dos cenários simulados conduzem ao colapso do nosso ecossistema. No entanto, três das 13 simulações atingem um estado de equilíbrio devido à introdução do controlo de natalidade, à restrição da produção, a implementação de tecnologias de controlo de emissões, à prevenção de erosão e à conservação de recursos naturais.

- **Robert W. Kates (1999) – *Our common Journey***

Este estudo sobre o desenvolvimento sustentável tentou fazer uma revisão mais profunda das várias questões deixadas por responder pela Comissão de Brundtland. Foram organizadas classificações científicas dentro do desenvolvimento sustentável como: O que deve ser mantido a nível de natureza, apoios à vida, e comunidade? Por quanto tempo? e, O que deve ser desenvolvido para as pessoas, a economia e a sociedade?

O objetivo era tornar mais precisa a definição de sustentabilidade e os seus objetivos concretos, porquanto muitas das críticas levantadas historicamente concernem a imprecisão do tema e da sua realização. Porém, e relativamente à concretização dos objetivos, o documento não avançava significativamente.

- **Meadows et al (2004) – *Limits to Growth. The 30th year update***

Os autores assumem que a capacidade da Terra de fornecer recursos e absorver os poluentes (pegada ecológica) já foi ultrapassada em 1980 e vai continuar a ser ultrapassada (em 2004 em cerca de 20%).

- **Clube de Roma (2006) – *The Population Blow Up and After – The Demographic Revolution and Sustainable Development***

Sergey P. Kapitza salienta que o crescimento da população é o maior problema que a humanidade enfrenta, conjugando questões como desenvolvimento social e económico, ciência, educação, arte e segurança. Ele considera importante olhar para o passado para compreender o presente e o futuro, e, defende que, presentemente, a sociedade caminha para o domínio do conhecimento ditado por educação e ciência.

- **Clube de Roma (2012) – *2052: A Global Forecast for the Next Forty Years***

Este documento descreve as tendências do desenvolvimento global por Jørgen Randers, fazendo a ligação ao *The Limits to Growth* de 1972. Este relatório difere do seu antecessor essencialmente por duas características. Em primeiro lugar ele descreve apenas tendências e não faz cenários catastróficos. Em segundo lugar, ele não faz apenas projeções, mas apresenta propostas concretas sobre como as pessoas devem responder aos desenvolvimentos emergentes.

A grande virtude do processo de consciencialização é que cada indivíduo passa a ter a clara consciência de que os seus atos importam para resolver a situação. Deste modo afigura-se particularmente relevante que, por mais conferências, protocolos e tratados que existam, se o indivíduo não mudar o modo como se relaciona com o mundo, esta é uma batalha perdida. A mudança de paradigma passa sem sombra de dúvidas por uma imensidão de atos individuais (MACEDO, 2010).

### 2.2.3. A CRISE AMBIENTAL E ECONÓMICA

Desde a década de 70 que a humanidade tem vindo a tomar consciência de que existe uma crise ambiental, a qual, não obstante poder apresentar diferenças nacionais e regionais, é seguramente uma crise à escala planetária, à qual se soma presentemente uma crise económica global.

Essa crise ambiental tem sido progressivamente enfatizada e fomentada pela ocorrência de acidentes graves e bastante significativos: em 1976 o acidente de Seveso, em 1979 o acidente na central nuclear de Three Miles Island nos EUA, em 1984 acidente da indústria química em Bhopal na Índia; em 1986 o acidente nuclear de Chernobyl; em 1989 o acidente do petroleiro Exxon Valdez, na costa sul do Alaska, que provocou uma maré negra causando poluição marítima numa das zonas mais ricas em recursos piscícolas, evidenciavam constantemente as questões ambientais, os efeitos nefastos (dos vários tipos de poluição) e a necessidade de prevenção (PINHEIRO, 2006).

Outra situação que concorre para incrementar a crise ambiental é o facto de que a queima de combustíveis fósseis, para fins industriais e para o transporte, provocou um aumento de concentração de gases com efeito de estufa. Os níveis de CO<sub>2</sub> subiram 36% relativamente aos valores do século XVIII, antes da generalização do uso do carvão (GASPAR, 2009).

Ring (et. al, 2010) estima que, nos últimos 300 anos, houve uma redução de 40% da área florestal mundial.

O gráfico seguinte (Fig. nº12) tem no seu eixo X os anos nos quais foram levantados os dados de Temperatura (°C), e, manchas solares no eixo Y esquerdo e CO<sub>2</sub> (ppm) no eixo Y direito. É visível um aumento gradual até aos anos 30 do século XX e uma subida cada vez mais acentuada desde então, com os valores do CO<sub>2</sub> a aumentarem cerca de 30%. A tendência das curvas da temperatura e do CO<sub>2</sub> são claramente ascendentes.



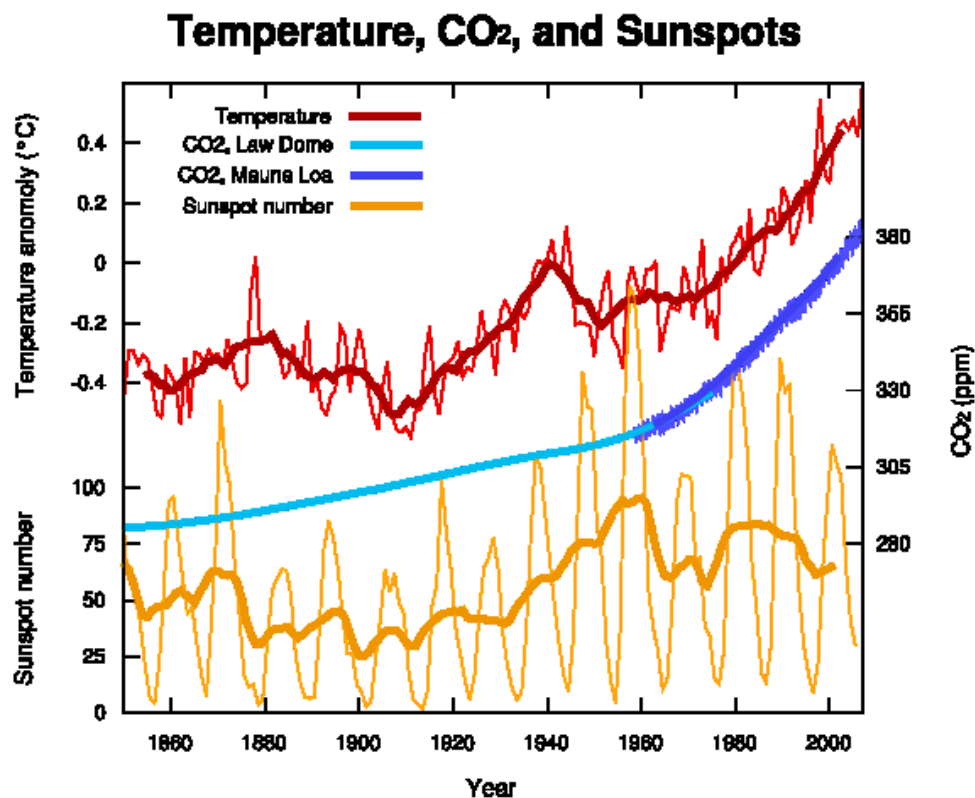


Figura 12: Gráfico da evolução do aumento de temperatura global média com o nível de concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico. (Fonte: Stanford Solar Center (2008); <http://solar-center.stanford.edu/sun-on-earth/glob-warm.html>)

A seguinte imagem (Fig. nº13) representa o aumento da desertificação, devido à subida de temperatura, numa projecção para 2100 realizada pela *United Nation Environmental Programme* - UNEP (2006).

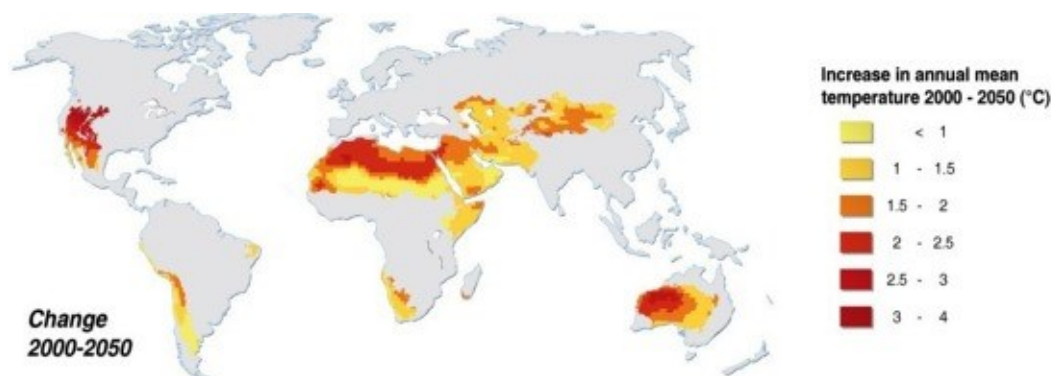


Figura 13: Aumento da área de deserto em função da subida da temperatura média do ar (Fonte: UNEP, 2006)

A necessidade de fontes de energia renováveis está presente nas várias atividades humanas, entre elas, a da Indústria da Construção, sendo que esta, para além do consumo energético, assume também um lugar preponderante na extração e impacte sobre os recursos naturais (GASPAR, 2009). Estima-se que o setor da construção seja responsável por mais de um terço do consumo total de energia e recursos naturais do planeta e que os edifícios produzam 35% das emissões de gases com efeito de estufa (GASPAR, 2009; EU, 2004).

O conceito *Cradle to Grave* avalia o consumo de água, energia e matéria-prima ao longo do ciclo de vida do edificado. O ciclo de vida abrange a fase de extração da matéria-prima, a sua transformação e transporte até à obra, a construção, o uso, a manutenção, os eventuais restauros e a fase de demolição e do depósito, sendo que esta pode ainda ser mitigada por uma fase de reuso e/ou reciclagem dos materiais.

À energia consumida na construção dos edifícios acresce a da produção dos materiais, designada por *energia incorporada*, e que se estima em cerca de 10 a 15% do ciclo de vida do edificado (GASPAR, 2009). Os edifícios e ambiente construído consomem uma grande quantidade de materiais, sendo que, só nos edifícios, são afetados 40% dos materiais e 55% das madeiras extraídas mundialmente (ROODMAN, et.al., 1995). As quantidades de resíduos provenientes da atividade de construção são igualmente elevadas, estimando-se que o edificado e atividades afins originem cerca de 40% do total de resíduos produzidos (CIB, 1999).

Segundo Gaspar (2009) os edifícios em Portugal representam cerca de um terço do consumo energético nacional e representam o 2.º setor que mais contribui para o efeito de estufa. Em 2002 existiam cerca de 3,3 milhões de edifícios, sendo que, o seu consumo energético, dominado pela energia elétrica, representava 22% do consumo total de energia do país, ou seja o equivalente a 3,5 Mtep (milhões de toneladas equivalente de petróleo) (GONÇALVES, 2007).

Concomitante à crise ambiental constata-se igualmente uma crise económica mundial cujos efeitos tardam em ser mitigados.

*“A crise que hoje vivemos é, na sua génese, uma crise eminentemente financeira, ainda que ocorrendo num período de profundíssimas transformações económicas. Acresce que, hoje, mais do que uma crise financeira já é também uma crise económica... Na década atual assistimos à consolidação de um conjunto de*

*efeitos que, decorrentes da globalização da economia mundial, levaram a alterações muito importantes dos equilíbrios nos mercados de fatores, matérias-primas e bens finais, com reflexos importantes e diferenciados sobre a generalidade das economias mundiais”<sup>8</sup> (LEITE, 2013).*

A figura nº14 representa a evolução dos indicadores macroeconómicos da crise global. Estão inicialmente representados cinco gráficos de barras, de 2007 a 2011, onde estão plasmados valores relativos aos mais significativos mercados financeiros (percentagens de acordo com o Fundo Monetário Internacional - FMI) designadamente Estados Unidos da América - EUA, União Europeia, Rússia, China e média Mundial. Na representação gráfica ressalta a evidência de que em 2009 a economia global sofreu a maior queda desde a II guerra Mundial e que os efeitos ainda hoje perduram.

Estão ainda representados graficamente os índices Dow Jones Industrial Average (EUA) e o MICEX (Rússia) onde se pode observar o colapso relativo à declaração de bancarrota do banco Lehman Brothers, em setembro de 2008, com efeitos que tiveram um pico negativo em 2009, os quais são compagináveis com a evolução dos preços (em dólares) do barril de crude de acordo com dados do departamento de energia dos EUA.

<sup>8</sup>António LEITE, *A crise financeira e económica internacional*, 2013, p.7-8.

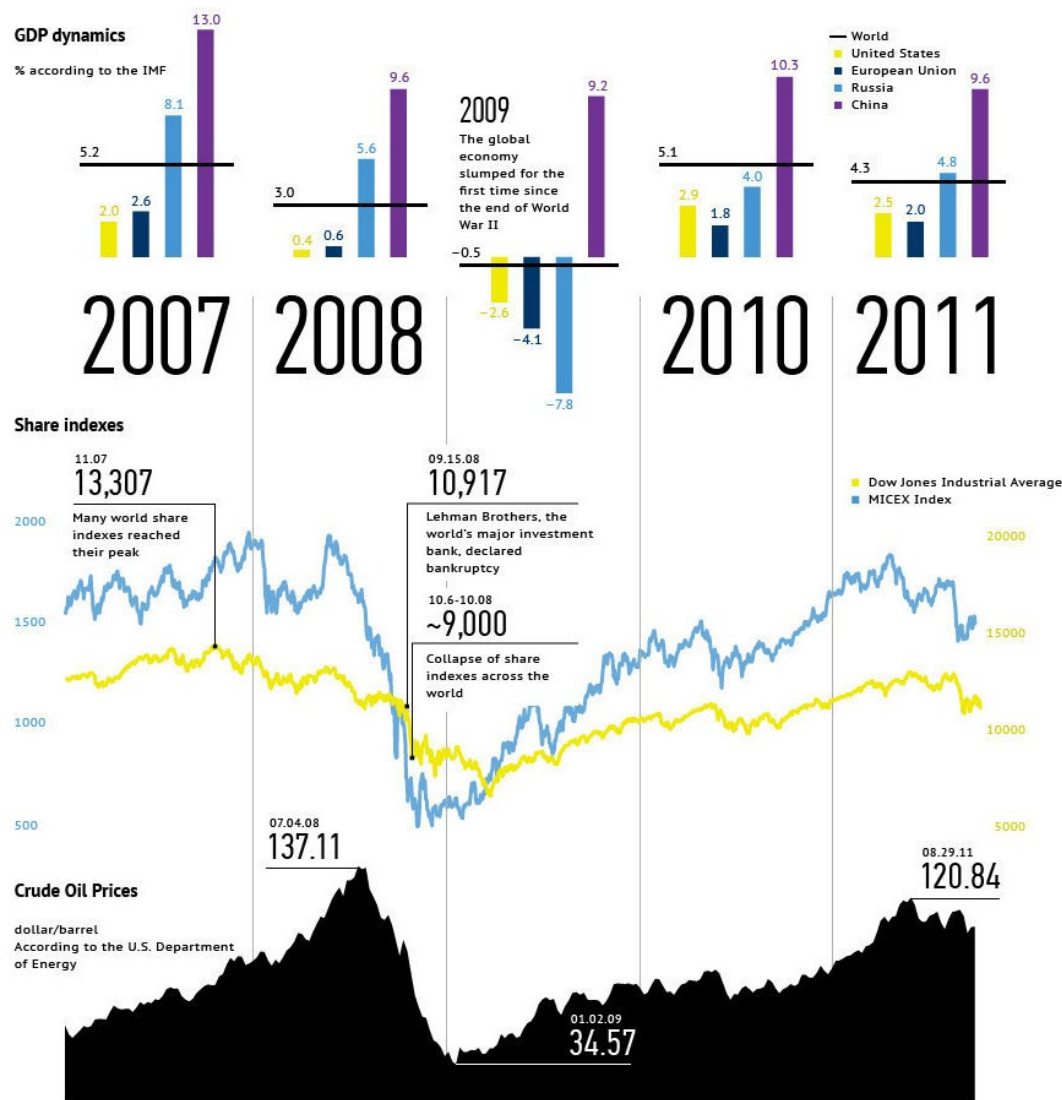


Figura 14: Gráficos da evolução dos indicadores macroeconômicos  
(Fonte: RIANOVOSTI, 2011; <http://en.rian.ru/infographics/20110916/166891235.html#comm>)

A crise ambiental e económica obrigam a novos desafios no desenvolvimento sustentável dos edifícios requerendo uma mudança na forma como a indústria da construção e os proprietários abordam a conceção, a construção e a operação das estruturas. Os setores públicos e privados da indústria da construção são necessariamente induzidos para um novo conceito, o desempenho ambiental. A ética da Sustentabilidade de crescimento é baseada nos princípios da eficiência dos recursos, da saúde e da produtividade. O Design sustentável bem-sucedido requer uma abordagem integrada (REFFAT, 2004).

## 2.3. O PAPEL DOS MATERIAIS NA ARQUITETURA

### 2.3.1. QUAL A IMPORTÂNCIA DOS MATERIAIS PARA A ARQUITETURA?

A história da humanidade é simultaneamente a história dos materiais. A descoberta de um material e a técnica associada à sua transformação e uso, determinou de diversas formas a história e o desenvolvimento de uma determinada sociedade. A relevância desta percepção tem um significado profundo porquanto os diferentes períodos da história estão agrupados de acordo com a descoberta e utilização/produção de um novo material: Idade da Pedra, Idade do Ferro, Industrialização, etc.. A história da arquitetura está também ligada aos materiais. A invenção de um novo material ou métodos de produção teve na maior parte dos casos uma consequência na arquitetura: experimentação, inovação, novos conceitos, novos tipos de tecnologias de construção advêm também da invenção de materiais e consequente inovação tecnológica. Novos materiais, tais como o betão e o aço, revolucionaram a arquitetura mais recente e revolucionaram o modo de viver hoje na cidade (VERÍSSIMO, 2007).

Nas civilizações primitivas o ser humano sempre empregou os materiais na sua forma bruta. Porém, não demorou muito tempo para que o homem passasse a modelar e adaptar os materiais às suas necessidades. Até à época dos grandes descobrimentos a técnica resumia-se em modelar os materiais encontrados, os quais eram poucos, tendo quase sempre a mesma utilização. Predominavam então a pedra, o barro e a madeira (WESTON, 2003).

O papel dos materiais para o projeto de arquitetura é algo que sempre motivou e preocupou os arquitetos, desde os mais antigos como Vitruvio, Alberti e muitos outros até à nossa atualidade. A discussão deste tema é uma constante para a arquitetura.

Os tratados antigos de arquitetura como o Vitruvius' *De Architectura Libri Decem* e o de Alberti's *De Re Aedificatoria*, incluem nos seus princípios a importância da escolha do material e da sua influência no projeto arquitetónico:

Segundo Loewen (2002), Alberti toma de Vitruvius a tripartição *firmitas* (durabilidade), *utilitas* (comodidade) e *venustas* (beleza): *firmitas* é assegurada quando as fundações são levadas até o solo firme e os materiais sabiamente selecionados; *utilitas*, quando o arranjo das partes é perfeito e não apresenta obstáculos ao uso, e quando para cada classe de edifício é designada a sua

orientação conveniente e apropriada; e *venustas*, quando a aparência da obra é agradável e elegante, e quando os seus membros estão em proporção devida de acordo com os corretos princípios da simetria (Vitruvius, 1960, I, Cap. III, p. 17).

Em Alberti, os três sistemas hierárquicos e interdependentes correspondem aos três estágios de *firmitas*, *utilitas* e *venustas*; estes organizam o tratado e são indissociáveis. O primeiro destes sistemas trata da construção e dos materiais que devem obedecer às leis da mecânica e da física, bem como àquelas da lógica imposta pela mente humana. No Livro I do *De Re Aedificatoria*, Alberti define os seis princípios ou operações que permitem ao arquiteto organizar ou articular os seus materiais – *regio*, *area*, *partitio*, *paries*, *tectum*, *pertio* – e no Livro II determina as regras que governam este processo. Na verdade, todo esse livro é dedicado à física dos materiais, enquanto o Livro III trata dos métodos de construção. O segundo sistema (Livros IV e V), que diz respeito à funcionalidade e conforto (*commoditas*), está sujeito às leis que governam o modo como os indivíduos se organizam em sociedade. E o terceiro sistema é o da beleza enquanto fonte de prazer (Livros VI, VII, VIII e IX) (LOEWEN, 2002).

Ainda em 1910, numa conferência largamente publicada e que fazia, naturalmente, parte das leituras de Mies van Rohe, Behrens contestava implicitamente a “*mentira construtiva*” como base estética, responsabilizando por este erro uma espécie de “*orientação acadêmica da nossa estética moderna*” que pretendia fazer “*derivar a forma artística do fim utilitário e da técnica... Da construção ou dos materiais não surge nenhum estilo. Não existe nenhum estilo materialista e não existiu nunca. A unidade que tudo abarca, de uma época, parte de um complexo de condições muito mais amplo do que possam representar esses dois fatores por si sós. A técnica não pode ser entendida durante muito tempo como finalidade em si mesma, ganhando mais valor e significado quando reconhecida como meio mais importante de uma cultura*”<sup>9</sup> (ATHOUGUIA, 2007).

Um arquiteto de referência da atualidade é Peter Zumthor, que diz o seguinte sobre os materiais (STEC, 2004):

*“No final de tudo, a arquitetura é um corpo físico. Mas o projeto rigoroso não precisa de ser feito muito cedo. Sentir a atmosfera não é tão fácil assim. Muitas vezes vem com dificuldades. E a construção da atmosfera, aquela que nós queremos, é ainda mais difícil.*

<sup>9</sup>Ruy ATHOUGUIA, *Permanência do Moderno*, 2007, p.29.

<sup>10</sup>Barbara STEC, *Conversas com Peter Zumthor*, Casabella, Nº 719, 2004. Pag. 6-13.

*Acho que essa combinação de ideias, humores e emoções com as propriedades físicas dos materiais, o seu peso, calor, dureza, leveza, humidade, é muito importante. É óbvio que, quando você pega em dois materiais e coloca-os juntos, você cria algo entre eles, alguma energia. Você coloca-os perto um do outro e vê que existe um ponto de aproximação em que eles começam a interagir. Antes, eles são indiferentes, depois eles se conectam, mas surge a tensão entre a indiferença e a conexão. A energia, a tensão e as vibrações, a harmonia entre os materiais - isto é o que arquitetura é para mim.”<sup>10</sup>*

Igualmente noutra entrevista (STEC, 2004), Peter Zumthor adianta que os materiais são elementos indissociáveis da arte e da técnica na arquitetura. Os materiais constituem-se como respostas a questões do lugar, da contemporaneidade, e do programa e são manipulados para se constituírem como elementos que se relacionam com os sentidos humanos. Numa outra pergunta revela que para ele a arquitetura, antes de ter forma, deve ter sensibilidade para com o ser humano, o material, o lugar para que se tente chegar a uma atmosfera precisa, real, capaz de cuidar bem do homem, que o deixe viver bem, o apoie discretamente, e que seja objetiva, única e integral.

Os arquitetos questionam-se sobre o que determinado material pode significar num determinado contexto arquitetónico, e para isso necessitam de explorar o que um material pode transmitir: a sensibilidade, o cheiro, e a expressão acústica são apenas alguns elementos dos materiais que temos de explorar. Um desses casos, foi por exemplo o de Frank Lloyd Wright que utilizava a madeira, o tijolo ou a pedra, da maneira que lhe parecia mais adequada à sua natureza, deixando que as massas de pedra se tornassem característica do edifício, ou que os ricos tons terrosos do tijolo, produto do forno, se erguessem em agrupamentos e formas que o glorificavam (GONÇALVES, 2009).

Nos dias de hoje, sente-se na arquitetura essa exploração dos materiais. Os arquitetos Herzog & De Meuron também conseguiram graças ao vidro, jogos luminosos, fachadas reveladores ou insinuantes, ao tratar materiais conhecidos com novos processos. Assim, o vidro tratado com areia, com ácido ou coberto com algas, proporcionou em determinadas ocasiões um carácter flutuante nos seus edifícios, como acontece nas paredes da casa Tavole em Itália e nas fachadas de texto no projeto Blois Cultural Center, em ambos os casos trabalhando-se o material até ao extremo para mostrar que não existe outra função senão a de “ser”. Qualquer que seja o material que usamos para fazer um edifício, este

resultará sempre de um específico encontro entre o edifício e o material (GONÇALVES, 2009).

A Arq.<sup>a</sup> Cristina Veríssimo (2007) ilustra que *“em arquitetura a seleção dos materiais começa a ser mais do que nunca, um assunto fulcral e que as propriedades e a seleção dos materiais e tecnologias ambientais começam a ser elementos cruciais em termos conceptuais...”*<sup>11</sup>.

### 2.3.2. O QUE É UM MATERIAL SUSTENTÁVEL?

Será que existem materiais sustentáveis e outros insustentáveis?

Os materiais existem, logo interagem com o seu ambiente. Estas relações devem ser melhoradas, sendo para isso necessário perceber de que forma interagem e hierarquizar as suas importâncias (CRUZ, 2009).

Tirando os materiais que sejam prejudiciais à saúde, ou seja tóxicos, não é fácil agrupar matérias pelo seu grau de sustentabilidade, porquanto a sustentabilidade, na sua essência, é uma propriedade que depende de um conjunto de características multidisciplinares e complexas as quais devem ser medidas/avaliadas caso a caso, e ao longo de todo o ciclo de vida de um material.

A procura de uma arquitetura sustentável implica portanto o imperativo de acrescentar novas e complexas funções à tríade Virtrúviana, pois para além *firmitas*, *utilitas* e *venustas*, o projeto sustentável deve produzir e economizar energia, ser eficiente na utilização de recursos, salvaguardar o solo, ter a possibilidade de alojar várias funções, constituir-se para regenerar o ambiente, quer do ponto de vista da biodiversidade, quer do ponto de vista da regeneração social e económica, entre outras e cada vez mais complexas solicitações. Para atingir estes objetivos, o projeto deve incorporar novas metodologias, medir e contabilizar todos os seus custos, utilizando para o efeito análises do ciclo de vida, apostar na utilização de produtos certificados quer na construção, quer na manutenção do edificado, quer do seu desmembramento quando o seu ciclo de vida terminar. Isto implica que o arquiteto, e as equipas pluridisciplinares que integram o projeto, devem aferir, medir e comparar as diversas opções que tomam para atingirem as soluções mais sustentáveis, porquanto de outro modo as intenções podem, efetivamente, não passar disso mesmo (MACEDO, 2010).

<sup>11</sup> Cristina VERISSIMO, O tempo e os materiais da arquitectura, 2007. Pag. 36-37.



A sustentabilidade é produto de uma combinação de fatores, designadamente a seleção correta do material para a aplicação em questão, a seleção do fornecedor, o facto de ser ecoeficiente e socialmente responsável, o detalhe do produto que garanta durabilidade, utilização, manutenção e disposição final (RAMOS, 2008).

Para demonstrar esta afirmação será dado o seguinte exemplo:

Uma madeira extraída de uma floresta declarada sustentável, que seja aplicada num ponto longínquo do planeta relativamente à sua extração, requerendo transportes excessivos, aumenta substancialmente a sua pegada ecológica, adulterando a sua qualidade declarada na fase de extração. Se esta mesma madeira for colocada num clima em que ela não resiste, a sua durabilidade é reduzida drasticamente e aumentada a necessidade de manutenção e utilização de outros materiais impregnantes, que por sua vez podem ser altamente insustentáveis. Por conseguinte, a avaliação do grau de sustentabilidade que apenas se refira à primeira fase do material é muito insatisfatória para tirar uma conclusão abrangente e inadequada para a tomada de opções num projeto.

Torgal (2011) explica que pode ser menos aconselhável usar produtos portadores de rótulos ecológicos que tenham que ser transportados milhares de quilómetros em vez de materiais ou produtos locais, mesmo que esses não possuam um rótulo ecológico.

Obviamente que a rotulagem tem a sua relevância na escolha de um material, mas não é suficiente para a criação de um quadro geral e pode resultar em escolhas menos sustentáveis.

Segundo os principais sistemas de certificação a nível mundial existem pelo menos nove parâmetros que avaliam a sustentabilidade dos projetos:

1. Planeamento sustentável da obra
2. Aproveitamento passivo dos recursos naturais
3. Eficiência energética
4. Gestão e economia da água
5. Gestão dos resíduos na edificação
6. Qualidade do ar e do ambiente interior

7. Conforto termo-acústico

8. Uso racional de materiais

9. Uso de produtos e tecnologias ambientalmente amigáveis

Estes nove parâmetros podem-se extrapolar para a avaliação dos materiais, sendo estes, segundo Cruz (2009), os aspetos e impactes ambientais dos materiais:

1. Material consome: recursos, energia, água;
2. Material emite: calor, ruído, poeiras, contamina o solo, gera vibrações, descarga efluentes líquidos, radiação, emite gases, cheiros, resíduos, impacte visual.

Estas duas categorias também são conhecidas como Inputs e Outputs.

Estes inputs e outputs entram na equação do conceito denominado *ecological rucksack*.

Este conceito de sustentabilidade, desenvolvido por Friedrich Schmidt-Bleek em 1994 no âmbito das *Material-Input per Service unit* (MIPS), quantifica o impacte de um objeto no ambiente, e é calculado com base na soma de todos os materiais e energia necessários, numa perspetiva de ciclo de vida, para produzir determinado produto ou serviço.

O consumo de bens e serviços obriga a um fluxo de materiais que provoca efeitos no ambiente, que vão desde a extração dos materiais até à erosão e à respetiva deposição final, quando não são utilizados. O fluxo de materiais consumidos na globalidade das atividades humanas varia em função da sua tipologia. A água, a areia e a brita estão entre os fluxos mais quantitativos, pese embora, em termos de impacte por tonelada movimentada, os metais pesados, os pesticidas ou os químicos perigosos, pelas suas propriedades, possam originar maiores impactes unitários (MOLL, et.al., 2003).

No início da década de 90 surge o *Factor 10*, da autoria de Friedrich Schmidt-Bleek do *Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy* que evoluiu a partir uma abordagem menos ambiciosa, o *Factor 4*, que foi proposto por L. Hunter Lovins e Amory Lovins, do *Rocky Mountain Institute* e Ernst von Weizsäcke, cujo objetivo era assegurar que as nações não excedessem a capacidade dos recursos disponíveis garantindo que fiquem recursos suficientes

para as gerações futuras. O *Factor 10* propõe que na próxima geração o uso de energia deve diminuir por um fator de 10, enquanto a produtividade e eficiência deve aumentar na mesma medida.

Sem prejuízo da implementação de estratégias de sustentabilidade, tais como o *Factor 4* e o *Factor 10*, torna-se imperativo complementar estas com novas e mais holísticas abordagens, mormente a inclusão no ato do projeto de ferramentas de avaliação do grau de sustentabilidade de materiais como a que será desenvolvida nesta investigação. Esta premência decorre do facto da necessidade de incluir, para além dos critérios quantitativos plasmados nos conceitos acima referidos, critérios qualitativos de cariz ambiental, económico e social.

Por vezes, a complexidade da aferição da sustentabilidade, pode afigurar-se ao arquiteto de formação tradicional como um constrangimento no desenrolar do processo criativo, pois a mensurabilidade das consequências é uma etapa complexa e que frequentemente foge ao domínio técnico do arquiteto. É pertinente alegar, perante tal postura, que o mesmo tipo de argumentação foi proferido no passado em relação a numerosos aspetos do projeto que hoje consideramos imprescindíveis, tais como as questões de segurança, acessibilidade, respeito e preservação do património, entre outras solicitações (MACEDO, 2010).

A definição de um material sustentável é, assim como a definição da Sustentabilidade em si, igualmente vaga. Ambas dependem de aspetos múltiplos que variam conforme o caso, ou seja, um material pode numa determinada situação ser vantajoso, mas pode não ser correto aplicá-lo de forma sistemática em todas as situações. Deve-se analisar os materiais para tentar entender se contribuem para o desenvolvimento sustentável, avaliar o caso concreto e então decidir se a opção é vantajosa. Para tomar a decisão devem sempre ser considerados os seguintes aspetos ao longo de todo o ciclo de vida:

- ter baixas emissões para a água, ar e de resíduos;
- ter baixa energia e recursos incorporados;
- ser reciclável e/ou ter conteúdo reciclado;
- ter baixos custos;
- oferecer segurança, saúde e conforto.

## **2.4. FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DE GRAU DE SUSTENTABILIDADE.**

A quantificação é uma tarefa empreendida pelo Homem desde tempos imemoráveis, fundamental para que este consiga compreender cada vez melhor a Realidade e atuar sobre ela de um modo racional. Adquirir conhecimento sobre os fenómenos que afetam decisivamente o Homem passa por um esforço de racionalização objetiva, sustentada por bases científicas, que permita traçar diretrizes no sentido do seu desenvolvimento equilibrado, quer a nível da gestão racional dos recursos naturais e das doenças graves que o ameaçam, quer ao nível da implementação futura de medidas corretoras que permitam melhorar o ambiente e o estado de saúde da Humanidade (RIBEIRO, 1999).

O desenvolvimento de métodos de avaliação da Sustentabilidade e respetivas ferramentas é um desafio não só para as Academias como também para a Indústria. Atualmente, existe uma variedade de ferramentas no mercado da construção que têm sido utilizadas na avaliação da construção sustentável e/ou no apoio à conceção sustentável (MATEUS, 2004).

Existem várias ferramentas, cada uma com os seus objetivos específicos e âmbitos próprios. Constata-se, no entanto, a reduzida existência de ferramentas relativas aos materiais que consigam incluir critérios amplos e que sejam simultaneamente simples e claras. As ferramentas estão a sofrer uma constante evolução para que sejam corrigidas as suas diversas limitações. Atualmente, o principal objetivo é desenvolver e implementar uma metodologia consensual que sirva de suporte à conceção de edifícios sustentáveis, que seja ao mesmo tempo prática, transparente e suficientemente flexível, para que possa ser facilmente adaptada aos diferentes tipos de edifícios e à constante evolução tecnológica que se verifica no domínio da construção (MATEUS, 2004).

Decorrente do facto de existirem poucas ferramentas desenvolvidas que meçam o impacto dos materiais de construção de uma forma expedita, pretende-se colmatar esta necessidade, desenvolvendo uma ferramenta que complemente as decisões dos projetistas (ver 3.2 e Capítulo IV).

## 2.5. CONCLUSÃO

→ PERGUNTA INICIAL: O que é o desenvolvimento sustentável?

A sustentabilidade, apesar de não ter uma definição única e definitiva reconhecida internacionalmente, baseia-se no chamado modelo dos três pilares (ou do triângulo), o qual inclui o pilar do ambiente, da economia e da componente social. Investigações científicas em diversas áreas integram cada vez mais este conceito, o qual é também alvo de debates, conferências e encontros de órgãos internacionais como EU, ONU, IUCN, UNESCO, WWF, etc..

A definição do relatório de Brundtland não foi ainda contestada: *“o uso sustentável dos recursos naturais deve suprir as necessidades da geração presente sem afetar a possibilidade das gerações futuras de suprir as suas”*. A forma como alcançar a sustentabilidade é pouco concreta e alvo de muita discussão.

A arquitetura também tem sofrido alterações em busca de uma performance mais sustentável, tais como a definição de estratégias bioclimáticas passivas, a incorporação de tecnologia mais eficiente e a inclusão de energias renováveis, tudo no sentido da redução dos gastos energéticos e de um menor impacto com a sua envolvente.

→ PERGUNTA INICIAL: O que é um material sustentável?

Os materiais são apenas uma parte para o desenvolvimento sustentável. Considera-se, no entanto, aplicável a frase *Think global, act local*, ou seja, melhorar uma parte de um todo pode influenciá-lo, desde que seja feito de forma integral.

Não existe um material perfeito geral, mas sim materiais perfeitos para determinadas circunstâncias, devendo-se analisar o quadro geral em que se insere e tentar respeitar ao máximo os princípios enumerados em 2.3.2.. Haverá sempre casos em que não se consegue alcançar um excelente desempenho em todos os critérios de avaliação, mas conforme o projeto, a sua utilidade, a sua esperança de vida e a sua localização poder-se-á encontrar um material que contribua mais do que outro para o desenvolvimento sustentável (ver 5.3 e Capítulo VI).

## CAPÍTULO III | ESTADO DA ARTE

*“Basicamente eu não estou interessado em arquitetura como uma profissão no papel. Eu só estou a dizer isto porque muitos arquitetos não estão assim tão interessados no edifício real, estão mais interessados na teoria do edifício ou só em alguns aspetos do edifício. Eu estou preocupado com o material, como as coisas são montadas, não o que aparenta, mas a maneira de ser. Eu estou interessado no edifício, como o veem, como o sentem, como é feito, o edifício como um corpo.”*

Peter Zumthor

<b>3.1. Enquadramento legal</b>	91
3.1.1. Quadro internacional	91
3.1.2. Quadro nacional	98
<b>3.2. Tipos de Ferramentas</b>	101
3.2.1. Ferramentas de Avaliação de Grau de Sustentabilidade e o seu desenvolvimento histórico	101
3.2.2. Análise Ciclo de Vida	108
3.2.3. Rótulos Ecológicos	115
3.2.4. Ferramentas Check-List/Certificação	118
3.2.5. Ferramentas de ACV para Materiais e Produtos	134
3.2.6. Comparação das Ferramentas existentes	142
<b>3.3. Conclusão</b>	149

### 3.1. ENQUADRAMENTO LEGAL

#### 3.1.1. QUADRO INTERNACIONAL

Regulamentações, Leis e Normas são elementos que organizam e definem direitos e princípios morais das sociedades e estabelecem regras que correspondem a orientações políticas e sociais.

Com o emergir do paradigma da sustentabilidade e com uma cada vez maior consciência ambiental, surgem, em conferências internacionais, relatórios com premissas dos vários países, os quais posteriormente se consubstanciam em Leis europeias e nacionais.

De um modo geral, a legislação direcionada para o ambiente define requisitos e aponta para soluções que dão resposta às problemáticas ambientais.

Pinheiro (2006) especifica que, numa primeira fase, o direito do ambiente se desenvolveu no início do século XIX até meados dos anos 60 do século XX, tendo como foco a má gestão de recursos naturais, principalmente no que à água dizia respeito, mas também incidindo sobre assuntos de saúde pública e segurança.

O Direito Internacional do Ambiente (ainda sem o ser de facto) apareceu como um meio de resolução de alguns conflitos de vizinhança que iam aparecendo numa sociedade crescentemente industrializada e povoada (ANTUNES, 1997).

Segundo Antunes (1997) o tratado de Roma de 1957, que instituiu a Comunidade Económica Europeia, não deu origem a qualquer instrumento que permitisse expressamente às instituições comunitárias qualquer domínio sobre o ambiente. Na verdade, no tratado não figurava qualquer referência explícita a "ambiente", "proteção do ambiente", "política de ambiente", "poluição" ou termos afins.

Em 1962 foi criado o Comité de peritos europeu para a conservação da natureza e dos recursos naturais e o Comité sobre a poluição das águas pelo conselho Europeu, que acabou por ser uma organização internacional pioneira neste âmbito.

Em 1967 foi aprovada uma Diretiva (Dir. nº 67/548/CEE) relativa à classificação de rotulagem e embalagem de substâncias perigosas e em 1970 foram aprovadas diretivas relativas ao nível sonoro e às emissões de veículos a motor (ANTUNES, 1997).

Mesmo antes do Clube de Roma ter reunido em 1972 o conselho de Europa formulou em 1970 (ano europeu da conservação do ambiente), uma declaração relativa ao ordenamento do ambiente na Europa e definiu, pela primeira vez, os grandes princípios de ação em prol da proteção do ambiente.

Em 1972 ocorreram dois grandes marcos no desenvolvimento da sustentabilidade: o Clube de Roma publicou o relatório *The Limits to Growth*, apresentando resultados da simulação da evolução da população humana com base na exploração dos recursos naturais, com projeções para 2100, e, em 16 de junho de 1972, iniciou-se a Conferência sobre o Ambiente Humano das Nações Unidas (Estocolmo). Foi a primeira Cimeira da Terra, a qual ocorreu, pela primeira vez a nível mundial, com preocupações ambientais globais, resultando no UNEP. Este programa, não sendo uma Lei, forneceu efetivamente uma motivação filosófica e jurídica à elaboração do direito do homem ao ambiente (ANTUNES, 1997).

Segundo Correia (2003) foram desenvolvidos três programas de ação na primeira geração de diretivas comunitárias de Ambiente:

- 1º Programa do Ambiente, 1973-1976, assumiu uma definição embora vaga de "Ambiente", medidas curativas e cooperação internacional;
- 2º Programa do Ambiente, 1977-1981, focou as medidas curativas e introduziu o Princípio do Poluidor Pagador;
- 3º Programa do Ambiente, 1982-1987, assumiu políticas curativas, e, propiciou a abordagem para as políticas preventivas e integração do ambiente noutras políticas.

Na mesma altura formularam-se ainda, entre outras, as seguintes Diretivas (1ª geração):

- Diretiva 75/440/CEE - Qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano;
- Diretiva 76/464/CEE - Poluição causada por substâncias perigosas e Diretivas filhas;
- Diretiva 85/337/CEE - Avaliação dos Efeitos de Projetos Públicos e Privados no Ambiente, assumindo-se a dimensão preventiva no processo de avaliação de impacte ambiental.



Foi nos finais dos anos 80 do século XX, com a percepção crescente de problemas globais, designadamente a degradação da camada do ozono estratosférico e as chuvas ácidas, que as questões ambientais passaram a ser vistas de uma forma mais alargada, tanto ao nível da sua repercussão como ao nível do processo. Compreendeu-se então que os impactes de uma determinada atividade eram resultado de todo o processo produtivo: materiais, resíduos e emissões e tecnologias utilizadas, assumindo-se, por conseguinte, a possibilidade de compatibilizar estes elementos e o conceito de desenvolvimento sustentável (Pinheiro, 2006).

Em 1980 a ONU elaborou o Relatório Global 2000 e em 1983 elaborou o Relatório da Qualidade do Ar, os quais ainda não eram Leis mas que definiam linhas e princípios gerais da temática.

*Our Common Future*, formulado pela WCED (*World Commission on Environment and Development*) em 1987, é outro documento que abarcava preocupações e pressupostos ambientais, mas que não tinha ainda força jurídica.

Foi também em 1987 que se aprovou o Ato Único Europeu, tendo este como objetivos preservar, proteger e melhorar a qualidade do ambiente, assim como contribuir para a proteção da saúde das pessoas e assegurar uma utilização prudente e racional dos recursos naturais.

A *Toronto Conference on the Changing Atmosphere*, no Canadá deu-se em outubro de 1988, seguida pelo *IPCC's First Assessment Report (Intergovernmental Panel on Climate Change)* em Sundsvall, Suécia, agosto de 1990 (TEIXEIRA, 2010).

Só em 1992, na Conferência no Rio de Janeiro, foi elaborada a Agenda 21, onde se proclamou o soberano direito dos Estados para explorar os seus recursos, prosseguindo as suas políticas de ambiente, mas assegurando que as atividades sob sua jurisdição ou controlo não causariam danos no ambiente de outros Estados para lá dos seus limites nacionais. Por esta altura despontavam os primeiros conceitos, institutos e instrumentos próprios desta área do direito, como o conceito de dano ecológico, a figura do Estudo de Impacte Ambiental e, fundamental no exercício do Direito do Ambiente, o instituto da reposição da situação anterior à infração. De facto, este Direito do Ambiente apelava a princípios que, pelas suas particularidades, o distinguiam de outros ramos do ambiente. Para além dos anteriores, pode referenciar-se, ainda, o tão propalado,

quanto invisível, princípio do poluidor - pagador, o princípio da participação ou o importante princípio da prevenção (ANTUNES, 1997).

Posteriormente à adesão de Portugal à comunidade económica europeia (1986) e até à data (CORREIA, 2003), concretizaram-se mais três programas de ação comunitários em matéria de Ambiente:

- 4º Programa do Ambiente, 1987-1992: Estratégia Preventiva - Princípio do Poluidor Pagador e Integração do Ambiente noutras políticas;
- 5º Programa de Ação em Matéria de Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 1993-2000. Este programa assume a Integração de políticas, sendo os setores selecionados: Indústria, Energia, Transporte, Agricultura e Turismo; Subsidiariedade e Responsabilidade partilhada, Instrumentos Económicos e Definição de metas para determinada áreas;
- 6º Programa de Ação em matéria de Ambiente, 2000 - 2010: Nosso Futuro, Nossa Escolha. Foca a integração de políticas, dissociando as pressões ambientais do crescimento económico. Prioridades: alterações climáticas; natureza e biodiversidade; ambiente e saúde e qualidade de vida; recursos naturais e resíduos.

Em 1991 foram aprovadas as seguintes diretivas, que segundo Pinheiro (2006) se designam como as de 2ª geração:

- Diretiva 91/271/CEE - Tratamento de Águas Residuais Urbanas;
- Diretiva 91/676/CEE - Poluição Causada por Nitratos de Origem Agrícola.

Entre 1996 e 2001 foram implementadas mais algumas diretivas, as de 3ª geração:

- Diretiva 96/61/CE - Prevenção e Controlo Integrado da Poluição;
- Diretiva 97/11/CE - Altera a Diretiva 85/337/CEE relativa à avaliação dos efeitos de determinados projetos públicos e privados no ambiente;
- Diretiva 2000/60/CE - Quadro de Ação Comunitário no domínio da Água;
- Diretiva 2001/42/CE - Avaliação dos Efeitos de Planos e Programas no Ambiente.

No capítulo XIX do Tratado de Maastricht estão identificados os objetivos da UE relativamente ao Meio Ambiente:

- A preservação, a proteção e a melhoria da qualidade do ambiente

- A proteção da saúde das pessoas
- A utilização prudente e racional dos recursos naturais,
- A promoção, no plano internacional, de medidas destinadas a enfrentar os problemas regionais ou mundiais do ambiente (esse objetivo foi acrescentado na revisão de 1992, com o intuito de salientar a responsabilidade da Comunidade Europeia na proteção do meio ambiente).

Na sequência do Tratado de Maastricht, o Tratado de Amesterdão modificou e desenvolveu o seu conteúdo, continuando a dar ênfase ao princípio da integração dos requisitos ambientais nas outras políticas e reconheceu que o aspeto chave consiste na promoção do desenvolvimento sustentável (Artigo nº 6 do Tratado CE) (PINHEIRO, 2006).

Aquando do Protocolo de Quioto (1997), vários países, inclusive Portugal, comprometeram-se em baixar as suas emissões.

Em 2001 foi aprovada a Diretiva (Dir. nº 2001/42/CE), que propunha a avaliação ambiental estratégica de planos e programas.

Foi aprovada em setembro de 2001 uma diretiva (Diretiva 2001/77/CE) relativa à produção de eletricidade a partir de fontes de energia renováveis (FER). Esta diretiva fixava uma meta para a UE: até 2010, 22,1% de eletricidade consumida na UE deve ser gerada a partir de FER (TEIXEIRA, 2010).

Com o mesmo propósito, foi aprovada uma outra diretiva (Diretiva 2003/30/CE) relativa à promoção de uma quota de mercado para os biocombustíveis, inicialmente de 2% em 2005, aumentando gradualmente até atingir os 5,75% em 2010, da gasolina e do gasóleo utilizados nos transportes rodoviários (TEIXEIRA, 2010).

A nova Diretiva 2009/28/CE, que alterou e subsequentemente revogou as Diretivas 2001/77/CE e 2003/30/CE, estabeleceu então o objetivo de se atingir os 20% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final de energia na UE em 2020, estabelecendo quotas individuais nacionais para cada um dos Estados Membros, e um objetivo mínimo obrigatório de 10% da incorporação de biocombustíveis no consumo de gasolina e gasóleo pelos transportes até 2020 (TEIXEIRA, 2010).

Outra diretiva de grande importância para o combate à redução das emissões de CO<sub>2</sub> é a Diretiva 2009/30/CE, que alterou a Diretiva 98/70/CE no que se refere às especificações da gasolina e do gásóleo rodoviário e não rodoviário e à introdução de um mecanismo de monitorização e de redução das emissões de gases com efeito de estufa, e, que alterou a Diretiva 1999/32/CE do Conselho no que se refere às especificações dos combustíveis utilizados nas embarcações de navegação interior e que revogou a Diretiva 93/12/CEE (TEIXEIRA, 2010).

Diretivas internacionais relacionadas com a sustentabilidade:

Bases gerais de sustentabilidade no setor da construção:

- ISO 15392:2008 – Sustainability in building construction – General principles
- EN 15643-1:2010 – Sustainability of construction works – Sustainability assessment of buildings – Part 1: General framework
- ISO TR 21932:2012 – Building construction – Sustainability in building construction – Terminology

Bases para o desenvolvimento e aplicação de critérios de avaliação:

- ISO 21929-1:2011 – Sustainability in building construction – Sustainability indicators – Part 1: Framework for development of indicators for buildings
- ISO 21929-2: 2012 – Sustainability in buildings and civil engineering works – Sustainability indicators – Part 2: Framework for the development of indicators for civil engineering works

Bases para a descrição e avaliação da qualidade ambiental dos edifícios:

- ISO 15686-1:2011, Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles and framework
- ISO 15686-6:2004 – Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 6: Procedures for considering environmental impacts
- ISO 15686-7:2006 – Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice

- ISO 15686-8:2008, Buildings and constructed assets – Service-life planning – Part 8: Reference service life and service-life estimation
- ISO/TS 15686-9, Buildings and constructed assets – Service-life planning – Part 9: Guidance on assessment of service-life data
- ISO 21931-1:2010 – Sustainability in building construction – Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works – Part 1: Buildings
- EN 15643-2:2011 – Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 2: Framework for the assessment of environmental performance
- EN 15978:2011 – Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method

Base para a descrição e avaliação da qualidade social de edifícios

- EN 15643-3:2012 – Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings Part 3: Framework for the assessment of social performance

Base para a descrição e avaliação da qualidade económica de edifícios

- ISO 15686-5:2008 – Buildings and constructed assets – Service-life planning – Part 5: Life-cycle costing
- EN 15643-4:2012 – Sustainability of construction works – Assessment of buildings Part 4: Framework for the assessment of economic performance

Base para a descrição e avaliação da qualidade funcional dos edifícios

- ISO 15686-10:2010 – Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 10: When to assess functional performance

Bases para a Análise do Ciclo de Vida:

- DIN EN ISO 14040:2006 – Gestão ambiental – \*ACV – Princípios e âmbito
- DIN EN ISO 14040:2006 – Gestão ambiental – \*ACV – Requisitos e diretrizes
- ISO 14067 – Pegada ecológica de produtos – Requisitos e diretrizes para a quantificação e comunicação

Bases para a criação e utilização de declarações ambientais de produtos EPDs:

- ISO 21930:2007 – Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products

Todas estas normas incluem princípios e convergem para o mesmo objetivo da ferramenta para a avaliação da sustentabilidade, mas não se aplicam diretamente aos materiais, sendo as DIN EN ISO 14040 e a ISO 21930 aquelas que mais se aproximam.

### **3.1.2. QUADRO NACIONAL**

Em 1971 surgiu em Portugal a primeira figura estatal para o Ambiente, a Comissão Nacional de Ambiente – CNA, através da Portaria 316/71 de 19 junho. Em 1974 foi fundada a Secretaria de Estado do Ambiente – SEA, sendo o seu primeiro titular o Arquiteto Gonçalo Ribeiro Telles.

Antunes (1997) salienta que, no topo do direito, desde 1976 que Portugal tem o reconhecimento constitucional da existência de direitos e deveres na área do ambiente. Ainda hoje, muitos dos nossos parceiros comunitários não têm a consagrao constitucional da proteo do ambiente.

No artigo 9º da Constituio Portuguesa encontramos estatuído:

- Promover o bem-estar e a qualidade de vida do povo e a igualdade real entre os portugueses, bem como a efetivao dos direitos económicos, sociais e culturais mediante a transformao e modernizao das estruturas económicas e sociais (alínea d);
- Proteger e valorizar o patrimnio cultural do povo português, defender a natureza e o ambiente, preservar os recursos naturais e o ambiente, preservar os recursos naturais e assegurar um correto ordenamento do território.

Consta também no Art.º66:

- Prevenir e controlar a poluio e os seus efeitos e as formas prejudiciais de erosão;

- Ordenar e promover o ordenamento do território, tendo em vista uma correta localização das atividades, um equilibrado desenvolvimento sócio - económico e paisagens biologicamente equilibradas;
- Criar e desenvolver reservas e parques naturais e de recreio, bem como classificar e proteger paisagens e sítios, de modo a garantir a conservação da natureza e a preservação de valores culturais de interesse histórico ou artístico;
- Promover o aproveitamento racional dos recursos naturais, salvaguardando a sua capacidade de renovação e a estabilidade ecológica;
- Assegurar que a política fiscal compatibilize o desenvolvimento com a proteção do ambiente e qualidade de vida.

Com a adesão de Portugal à CEE em 1986, a legislação ambiental passou a ser comunitária devido à aprovação do Ato Único Europeu (1987).

Nesse ano foi publicada a Lei de bases do Ambiente, Lei nº 11/87, de 7 de abril, que estabeleceu os seguintes princípios: o princípio da prevenção, o princípio do equilíbrio, o princípio da participação, o princípio da unidade de gestão e de ação, o princípio da cooperação internacional, o princípio da procura do nível mais adequado de ação, princípio de recuperação e o princípio da responsabilização.

Portugal adotou, em 2001, a Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas que contém os princípios e objetivos que orientam as políticas e medidas a adotar no âmbito desta problemática e que levam ao cumprimento dos compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto.

No quadro Europeu de partilha de responsabilidade, Portugal dispõe de 381.937.527 tCO<sub>2</sub>equivalente de unidades de Quantidade atribuída para o período de cumprimento do Protocolo de Quioto 2008-2012, o que equivale a um aumento de 27% das emissões registadas em 1990. Para cumprir os compromissos nacionais, Portugal dispõe de 3 instrumentos:

- Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), que integra um conjunto de políticas e medidas públicas sectoriais de mitigação de gases com efeito de estufa,

- Comércio Europeu de Licenças de Emissão (PNALE II), que impõe tetos às emissões de CO<sub>2</sub>, que define as condições a que ficam sujeita as instalações abrangidas pelo comércio europeu de licenças de emissão de GEE (CELE).
- Fundo Português de Carbono, que promove a aquisição de unidades de cumprimento no âmbito dos Mecanismos de Flexibilidade do Protocolo de Quioto, bem como a redução adicional de emissões de gases com efeito de estufa através de projetos domésticos (TEIXEIRA, 2010).

Recentemente, foi aprovada pelo governo no dia 18 de março de 2010, em Conselho de Ministros, a Estratégia Nacional para a Energia até 2020 (ENE 2020), cujas principais metas são a redução para 74% da fatura energética nacional e o cumprimento das políticas europeias, para que 60 por cento da eletricidade seja produzida por fontes renováveis, e reduzir em 25 por cento o saldo importador energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas (TEIXEIRA, 2010).

Segundo Schmidt (2008): *“apesar de não lhe faltar estrutura institucional e um aparato legislativo razoáveis, Portugal apresenta persistentemente mau desempenho ambiental. A sociedade civil e a opinião pública demoraram a integrar o assunto como uma prioridade, e os executivos mantêm as políticas ambientais na periferia da governação, como um problema negligenciável ou até um estorvo às dinâmicas de desenvolvimento”*<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> Luísa SCHMIDT, *Ambiente e Políticas Ambientais: escalas e desajustes*, 2008. Pag. 285-314.



## 3.2. TIPOS DE FERRAMENTAS

### 3.2.1. FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO E O SEU DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO

A adoção formal por parte da ONU do conceito de desenvolvimento sustentável surgiu com a criação em 1972 da WCED que, em 1987, publicou um relatório intitulado *Our common future*, também conhecido como o relatório Brundtland. Este relatório indicou a pobreza nos países do Sul e o consumismo extremo dos países do Norte como as causas fundamentais da insustentabilidade do desenvolvimento e das crises ambientais. A comissão recomendou a convocação de uma conferência sobre esses temas.

O desenvolvimento da Agenda 21 começou em 23 de dezembro de 1989 com a aprovação, em Assembleia Extraordinária das Nações Unidas, de uma conferência sobre o meio ambiente e o desenvolvimento, como fora recomendado pelo relatório Brundtland e com a elaboração de esboços do programa que sofreram um complexo processo de revisão, consulta e negociação, culminando na segunda Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, mais conhecida como Eco-92, no Rio de Janeiro, onde representantes de 179 Governos aceitaram adotar o programa.

A Agenda 21 exigiu a reinterpretação do conceito de progresso, contemplando maior harmonia e equilíbrio holístico entre o todo e as partes, promovendo a qualidade, não apenas a quantidade do crescimento.

A atenção virou-se então para este novo paradigma que utiliza Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para a Avaliação do grau de Sustentabilidade a nível global, nacional e do edificado.

A maior parte das Ferramentas de análise concentram-se num aspeto específico dentro da temática da Sustentabilidade, como o meio ambiente, a energia ou a saúde, enquanto outras tentam conjugar vários aspetos para obter um indicador mais completo, sendo que todas partilham o facto de somar vertentes ambientais e socioeconómicas.

O esquema seguinte (Fig. nº15) ilustra os indicadores de desenvolvimento sustentável e as respetivas organizações. Os indicadores existem a várias escalas, desde da escala Nacional / global, até aos indicadores de soluções construtivas. A proposta de tese irá completar a escala dos materiais.

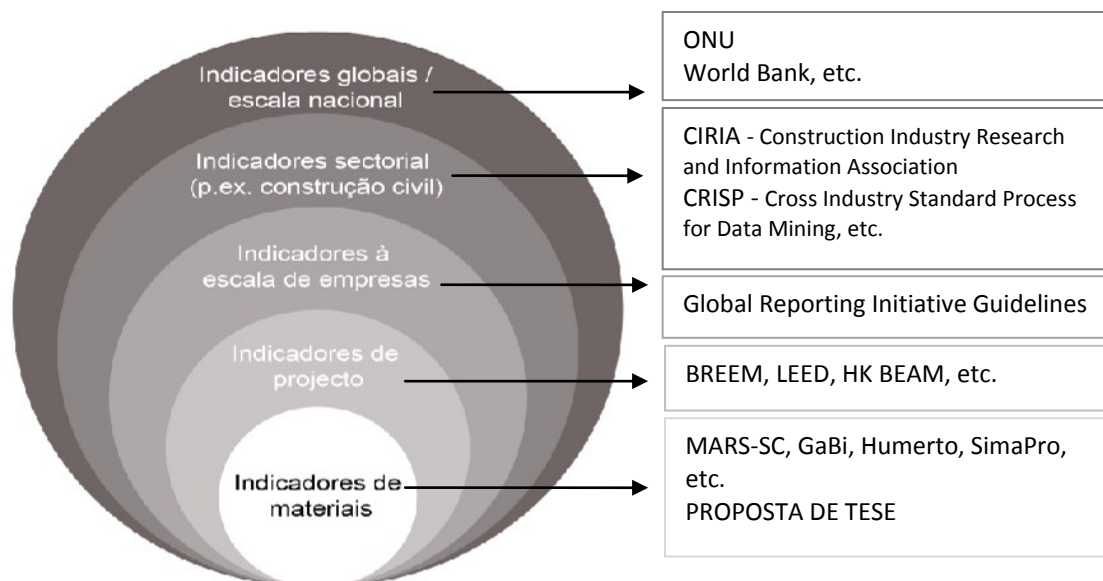


Figura 15: Esquematisação das várias escalas de indicadores de desenvolvimento sustentável.  
(Adaptado por autor, Fonte original SILVA, 2007)

Na década de 80 surgiram principalmente Indicadores Ambientais apoiados em quatro tipos de abordagens, aplicadas separadamente ou combinadas.

1. A abordagem por meios (*media approach*), que organiza os temas ambientais a partir da perspetiva dos componentes ambientais principais (ar, solo, água, etc.).
2. O modelo pressão-resposta (*stress-response*), que se concentra nos impactes de atividades humanas sobre o ambiente (pressões) e sua transformação subsequente (respostas).
3. A contabilidade de recursos (*resource accounting*), que procura traçar o fluxo de recursos naturais desde sua extração, através de etapas sucessivas de processamento e uso final, até o seu retorno para o ambiente, na forma de emissões e resíduos, ou para a economia, através da reciclagem (SILVA, 2007).
4. Indicadores ambientais concentrados no estado do ambiente através do monitoramento de alterações físicas no ambiente natural.

Não obstante estas abordagens informarem os agentes de decisão de que havia algo errado, elas não explicitavam as causas do problema ou o que seria possível fazer. Consequentemente foram desenvolvidas abordagens pressão-resposta cada vez mais abrangentes, como o modelo *pressure-state-response* (PSR) (Fig. nº 16), adotado pela *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD), e suas variações: *driving-force-state-response* (DSR), adotado pela Comissão das Nações Unidas para Desenvolvimento Sustentável (UNCSD), e *driving-force-pressure-state-impact-response* (DPSIR), adotado pela EIA12 e pelo EUROSTAT.

O modelo DSR foi então substituído pela CSD (*Council of Sustainable Development*) pelo *Theme Indicator Framework* (DESA, 1999), que organiza os indicadores segundo quatro dimensões principais (aspectos sociais, ambientais, económicos e institucionais), divididos em temas e subtemas.

A imagem que se segue (Fig. nº17) ilustra os vários indicadores existentes, ordenados por vertentes, sendo de salientar que apenas um indicador inclui as três vertentes, o DSR. Todos os restantes abordam apenas uma das três abordagens:

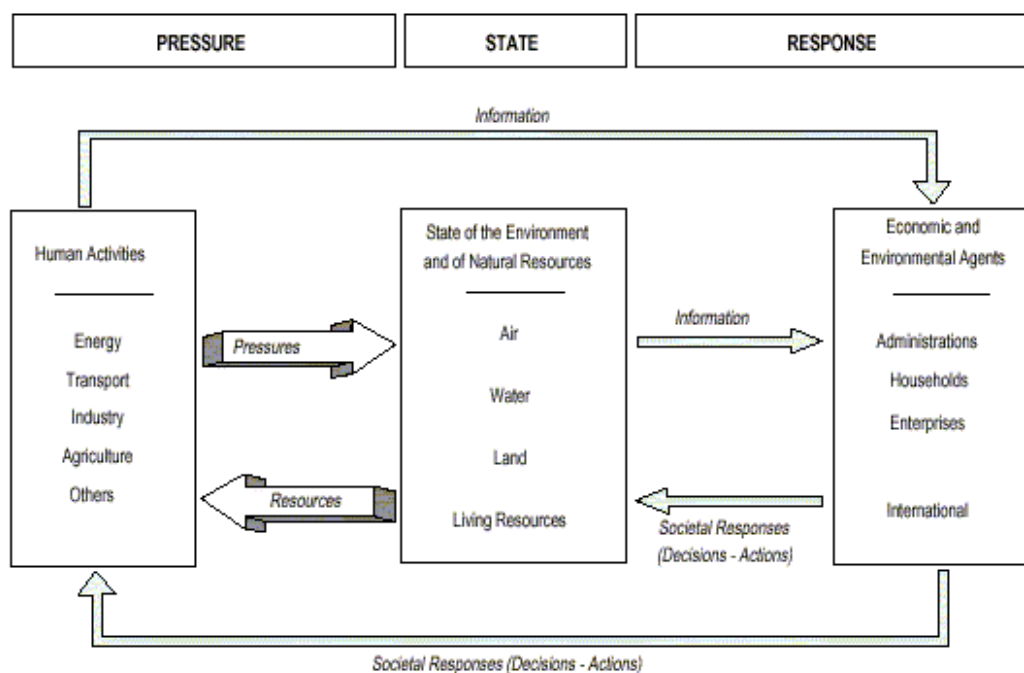
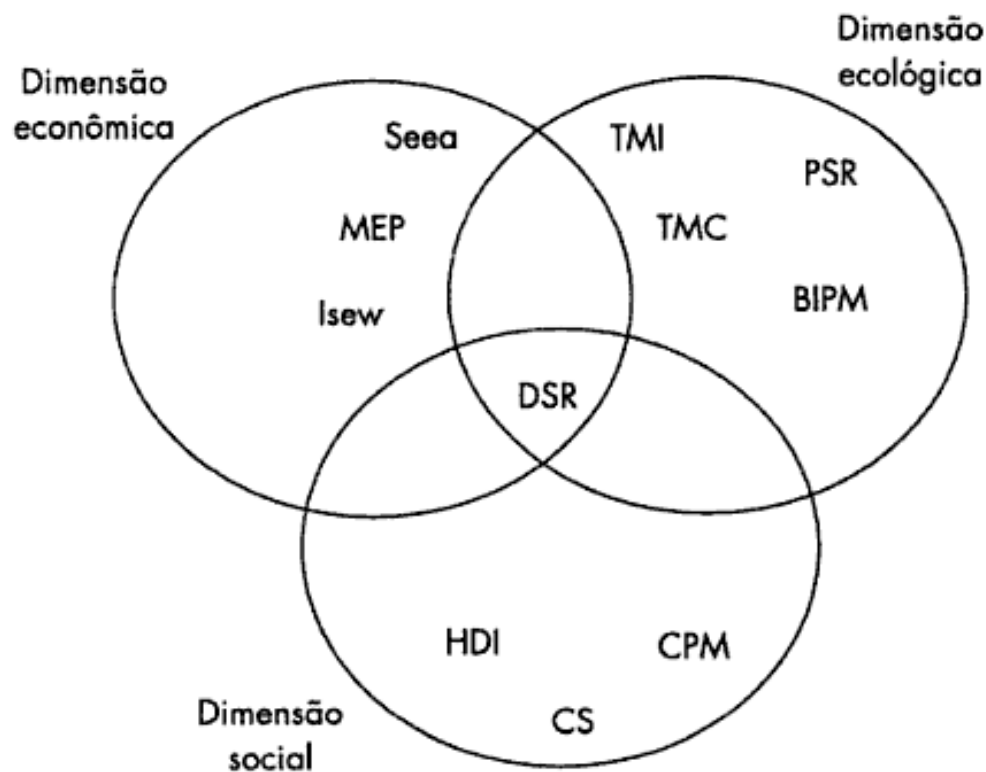


Figura 16: Esquemática do modelo PSR.  
(Fonte <http://www.fao.org/>)



Isew = *Index of Sustainable Economic Welfare*

Seea = *System of integrated environment and economic account*

MEP = *Monitoring Environmental Progress*

DSR = *Driving force, State, Response*

HDI = *Human Development Index*

CPM = *Capability Poverty Measure*

CS = *Compass of Sustainability*

PSR = *Pressure, State, Response*

TMI = *Total Material Input*

TMC = *Total Material Consumption*

Figura 17: Esquematização dos indicadores por vertente de incidência.  
(Fonte SILVA, 2007)

Engenheiro Mateus (2009) classifica uma construção como sustentável quando as seguintes dimensões são ponderadas durante a fase de projeto: ambiental, económica, social e cultural. Para além de se considerarem parâmetros relativos ao edifício, também se podem considerar parâmetros que avaliem a interação do edifício com o meio em que este está implantado. Os parâmetros que servem de apoio à avaliação da Sustentabilidade estão relacionados de uma forma ou outra com os seguintes objetivos: redução da utilização de energia e materiais não renováveis, redução do consumo de água e redução da produção de emissões, resíduos e outros poluentes. Nas diferentes metodologias de avaliação da sustentabilidade, é normalmente possível identificar os seguintes objetivos: otimização do potencial do local, preservação da identidade regional e cultural, minimização do consumo de energia, proteção e conservação dos recursos de água, utilização de materiais e produtos de baixo impacto ambiental, adequada qualidade do ambiente interior e otimização das fases de operação e manutenção.

Este pensamento tem subjacente um outro conceito base que é a Análise Ciclo de Vida (ACV), a qual foi formulada nos anos 90 com as normas ISO 14040 que regulamentam este tipo de medição. A ACV é uma análise completa a um produto ou um edifício que avalia, por norma, os seguintes parâmetros: Consumo de recursos não renováveis, consumo de água, potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozono, potencial de eutrofização, potencial de acidificação e formação de *smog*, e ainda, toxicidade humana, toxicidade ecológica, produção de resíduos, uso da terra, poluição do ar e alterações do habitat.

O ciclo de vida pode ser um ciclo fechado como a seguinte imagem (Fig. nº18) demonstra, começando pela extração de matéria-prima, o processamento desta e a sua embalagem, formando o produto o qual, seguidamente, é distribuído e utilizado pelos consumidores. A partir daqui o produto pode ser reutilizado, prolongando o seu ciclo, reciclado, inserido no processamento de outros produtos ou ser finalmente decomposto, incinerado, e depositado em aterro ou em lixeiras.

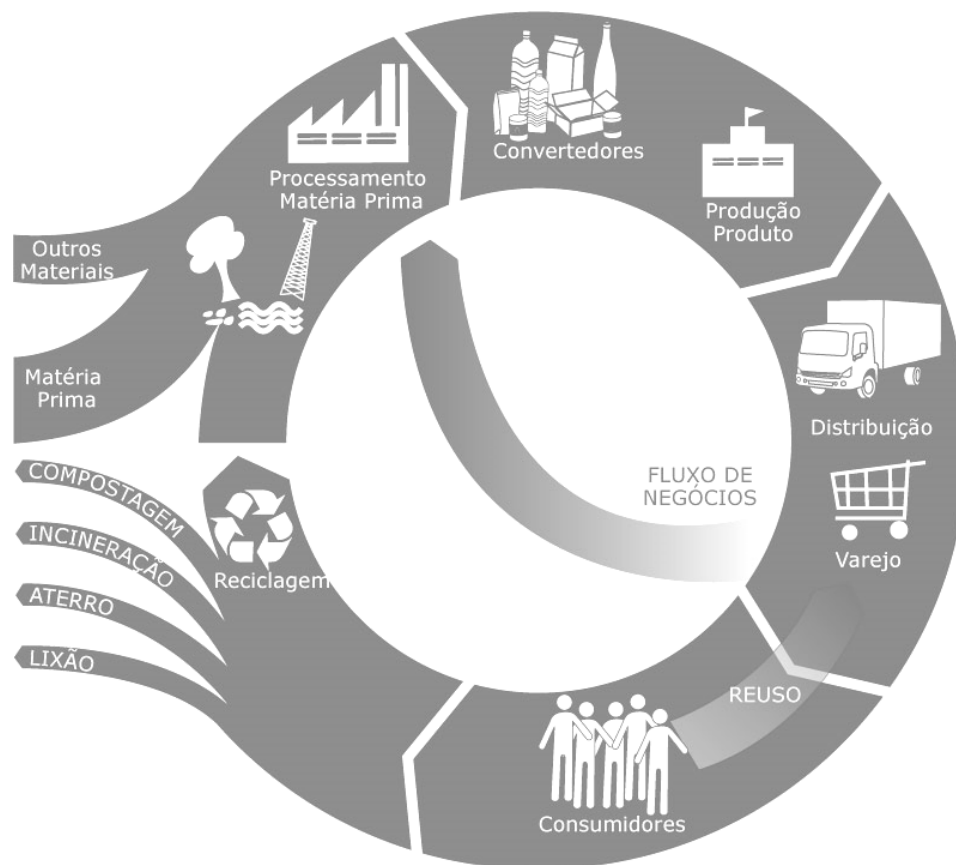


Figura 18: Esquemática do ciclo de vida de um produto (Fonte: IDDS, 2010)

Mateus (2009) define que o objetivo da avaliação da Sustentabilidade é reunir dados e reportar informações que servirão de base aos processos de decisão que decorrem durante as diversas fases do ciclo de vida de um edifício. A pontuação sustentável e o perfil sustentável de um edifício resultam dum processo no qual os fatores mais importantes são identificados, analisados e avaliados. São ainda referidas duas tendências antagônicas no contexto das Ferramentas de avaliação: por um lado a complexidade e a diversidade de indicadores desenvolvidos por diferentes entidades e por outro, a evolução no sentido da sua efetiva implementação e a simplificação do processo de avaliação.

Segundo Colaço (2008), existem as seguintes ferramentas para a gestão ambiental: Análise de riscos ambientais; Estudo do impacto ambiental; Auditoria ambiental; Avaliação do comportamento ambiental; Análise do fluxo do material; Análise da energia e da matéria; Gestão integral de um material; Análise da linha de produtos e a Análise ciclo de vida.

Análise de riscos ambientais – Avaliação de riscos ambientais provocados por fontes diversas para a saúde humana e para a envolvente, sendo avaliadas tanto as emissões frequentes como as acidentais. Trata-se de uma análise qualitativa, com critérios de probabilidades, a qual efetua previsões.

Estudo do impacte ambiental – EIA calcula as mudanças ambientais, num determinado lugar, provocadas por construções. Esta ferramenta é bastante útil na gestão do território, porquanto calcula os impactes para um determinado espaço de tempo.

Auditoria ambiental – É um processo sistemático, objetivamente documentado, de verificação e controle, o qual avalia provas e determina especificamente que aspetos estão, ou não, a ser cumpridos. Esta análise foca-se em condições atuais, e não analisa, por conseguinte, os efeitos futuros ou de origens anteriores.

Avaliação do comportamento ambiental – É um sistema de auditoria interno para avaliar e verificar o comportamento ambiental de uma organização, no que concerne certos critérios pré-estabelecidos no seu sistema de gestão (intenções e objetivos).

Análise do fluxo de material – É uma ferramenta que faz o balanço dos fluxos (Inputs e Outputs) ao longo do ciclo de vida de um material. Esta ferramenta serve para melhorar um produto.

Análise da energia e da matéria – É um precursor da ACV, sendo similar a esta ferramenta de avaliação de produtos.

Gestão integral de um material – Serve para tomada de decisões e comparações entre produtos, fazendo apenas cerca de 20% de uma ACV, ou seja, pode-se considerar como uma ACV simplificada.

Análise da linha de produtos – Também semelhante à ACV, porém afigura-se mais complexa, pelo facto de englobar ainda os aspetos económicos e sociais. É conceptualmente muito correta, mas de utilização pouco prática decorrente da sua complexidade.

Sendo que todas estas ferramentas utilizam de alguma forma a ACV como base, serão as suas definições especificadas no próximo Subcapítulo.

Serão também descritos de forma mais evidente os Rótulos ecológicos, as Declarações ambientais de produtos, os Sistemas de Checklist/certificação e ainda as Ferramentas de avaliação dos materiais e produtos.

### 3.2.2. ANÁLISE CICLO DE VIDA (ACV)

A ACV aborda os aspetos ambientais e os potenciais impactes ambientais (por exemplo a utilização de recursos e consequências ambientais das emissões e descargas) ao longo do ciclo de vida do produto, desde a obtenção das matérias-primas, passando pela produção, utilização, tratamento no fim-de-vida, reciclagem e deposição final.

Este conceito da ACV origina uma alteração de paradigma no que concerne o modo de observar os produtos. Antigamente olhava-se apenas para os efeitos diretos na sua produção ou na sua utilização, sendo que hoje em dia, através de uma visão holística, procura-se incluir todas as fases do ciclo de vida.

Esta abordagem abrange desde a fase da extração, a transformação e embalagem da matéria-prima, o seu transporte, a construção em si, a manutenção, o seu reuso, a reciclagem até ao depósito final. Este conceito é conhecido internacionalmente por *Cradle to grave* (ver ANEXO II).

Um estudo de ACV tem quatro fases:

- (1) a fase de definição do objetivo e do âmbito,
- (2) a fase do inventário,
- (3) a fase de avaliação de impacte, e
- (4) a fase de interpretação.

O seguinte esquema (Fig. nº19), retirado da ISO 14040, ilustra estas quatro fases e as suas aplicações diretas:



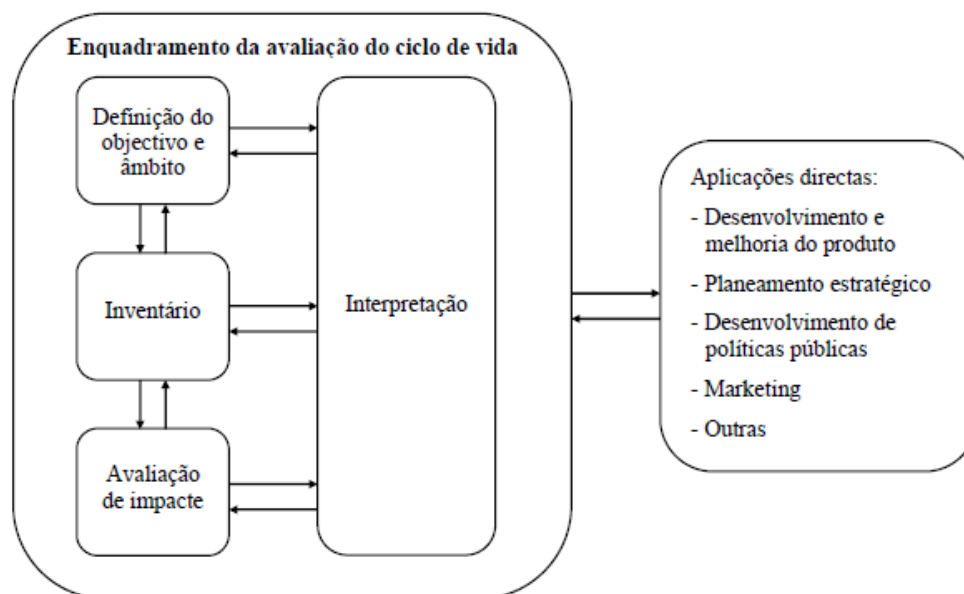


Figura 19: Esquematização das fases de uma ACV (Fonte: ISO 14040)

Na fase do objetivo e âmbito (1) determinam-se os objetivos e o enquadramento dos limites da investigação, como seja o ciclo de vida do produto desde da fase da extração até à sua deposição e devolução à natureza. Além disso, são consideradas as interações com outras substâncias, e, são definidas as premissas e limitações da investigação preliminar. É nesta fase também que se define a análise de pontos fracos entre um produto A e outro B, estabelecendo o nível de detalhe a considerar, ao definir também a unidade funcional para a execução do cálculo, criando por conseguinte todas as bases necessárias para a comparação. A unidade funcional é o tamanho relativo ao produto em análise e os seus impactes associados.

O inventário (2) é o segundo passo e envolve a construção do ciclo de vida, a parte quantitativa da ACV. A Interação com o meio ambiente é constituída por Inputs (recursos utilizados) e Outputs (emissões), sendo nesta fase considerados os dados fornecidos pelos fabricantes, mas também de outras fontes, de modo a incluir o total dos recursos consumidos, assim como para calcular as emissões. A imagem seguinte (Fig. nº20) representa no lado esquerdo os Inputs possíveis ao longo do ciclo de vida, como os recursos, o uso do solo, a energia, a água e outros materiais, e, no lado direito, os Outputs, nomeadamente Emissões para o solo, o ar, a água ou subprodutos e lixo. O esquema demonstra também que todos estes Inputs e Outputs podem existir em todas as fases do ciclo de vida, desde da produção até ao reuso, reciclagem ou depósito.

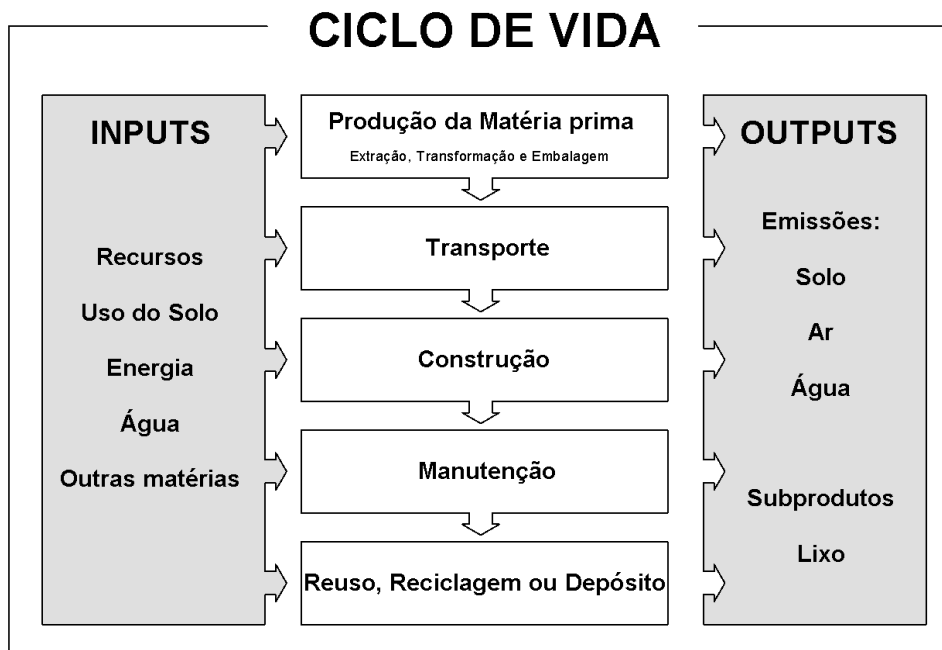


Figura 20: Esquemática dos Inputs e Outputs do ciclo de vida (Fonte própria)

Uma Base de dados completa e credível é seguramente de extrema importância (p.ex. ECOINVENT da Suíça). O inventário é, de *per si*, um modelo puramente descritivo e sem qualquer julgamento. No entanto, cada ciclo de vida inclui avaliações implícitas que surgem a partir dos limites do sistema previamente definidos, de cortes, critérios e restrições (1ª fase).

Após o levantamento dos dados começa a avaliação dos seus impactos (3), a qual, através de indicadores, transforma os dados recolhidos em informação de carácter claro, resumindo-os e densificando-os. A avaliação de impactos informa sobre os resultados do inventário de acordo com uma base científica, que mostra por exemplo a relevância de diferentes emissões no efeito estufa ou na formação do buraco de ozono. O resultado da avaliação de impactos, é normalmente um número (5-10) quantitativo dos impactos ambientais causados por um produto (por exemplo, contribuição para o efeito estufa, chuva ácida, buraco de ozono, etc.). Este passo inclui, implicitamente, uma avaliação, tanto através da seleção de categorias de impacto em si, como pela escolha das emissões consideradas. Na avaliação de impactos a normalização é facultativa, formando uma escala equivalente à quantidade populacional (ou seja, os impactos ambientais relativos

a 1, 100 ou 1.000 residentes). Este último passo simplifica a apresentação dos resultados.

A avaliação é feita através de critérios ecológicos, tendo sempre como objetivo salientar a sua relevância no impacto para o meio ambiente.

As categorias são as seguintes:

Para os recursos:

- Utilização de recursos escassos
- Utilização dos recursos bióticos
- Uso do solo / gasto de solo natural

Para as emissões:

- Efeito de estufa (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC)
- Acidificação (SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>)
- Eutrofização (NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>)
- Smog no verão (CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>)
- Destruição de Camada de ozono
- Toxicidade humana (número de substâncias tóxicas, como metais pesados e substâncias orgânicas prejudiciais para as pessoas de forma direta)
- Eco toxicidade (PCB, Pb, Cd, Hg)
- A formação de poluição fotoquímica

Por último serão utilizados todos os dados para dar resposta a uma pergunta lançada inicialmente nos objetivos (4). Pequenas modificações nos dados deverão testar a sensibilidade e robustez do sistema criado, para provar a eficiência da análise, e para que se consiga provar a sua relevância para as conclusões obtidas.

A Base científica da ACV utiliza a teoria de sistemas, sendo esta um modelo interdisciplinar para a descrição e explicação de fenómenos complexos diversos. Esta teoria foi desenvolvida nos anos 1920 pelo biólogo Ludwig van Bertalanffy, que entendeu como sistema um número de elementos e as suas relações e definiu a organização de sistemas complexos como a interação de fenómenos individuais, os quais estão todos interligados mas nem sempre de forma linear.

A Cibernética é outro conceito subjacente à teoria de sistemas, sendo esta uma tentativa de compreender a comunicação e o controle de máquinas, seres vivos e grupos sociais através de analogias com as máquinas cibernéticas (homeostatos, servomecanismos, etc.). \*

Numa análise de sistema o modelo é desenvolvido através de uma Blackbox que é detalhada conforme o grau de análise pretendido.

Trata-se portanto sempre de elementos que têm relações entre si, e, para o efeito, os Fluxogramas descrevem graficamente estas relações. A imagem seguinte (Fig. nº21) exemplifica um fluxograma de uma pedra.

\* Estas analogias tornam-se possíveis, na Cibernética, por esta estudar o tratamento da informação no interior destes processos como codificação e decodificação, retroação ou realimentação (feedback), aprendizagem, etc. Segundo Wiener (1968), do ponto de vista da transmissão da informação, a distinção entre máquinas e seres vivos, humanos ou não, é mera questão de semântica.

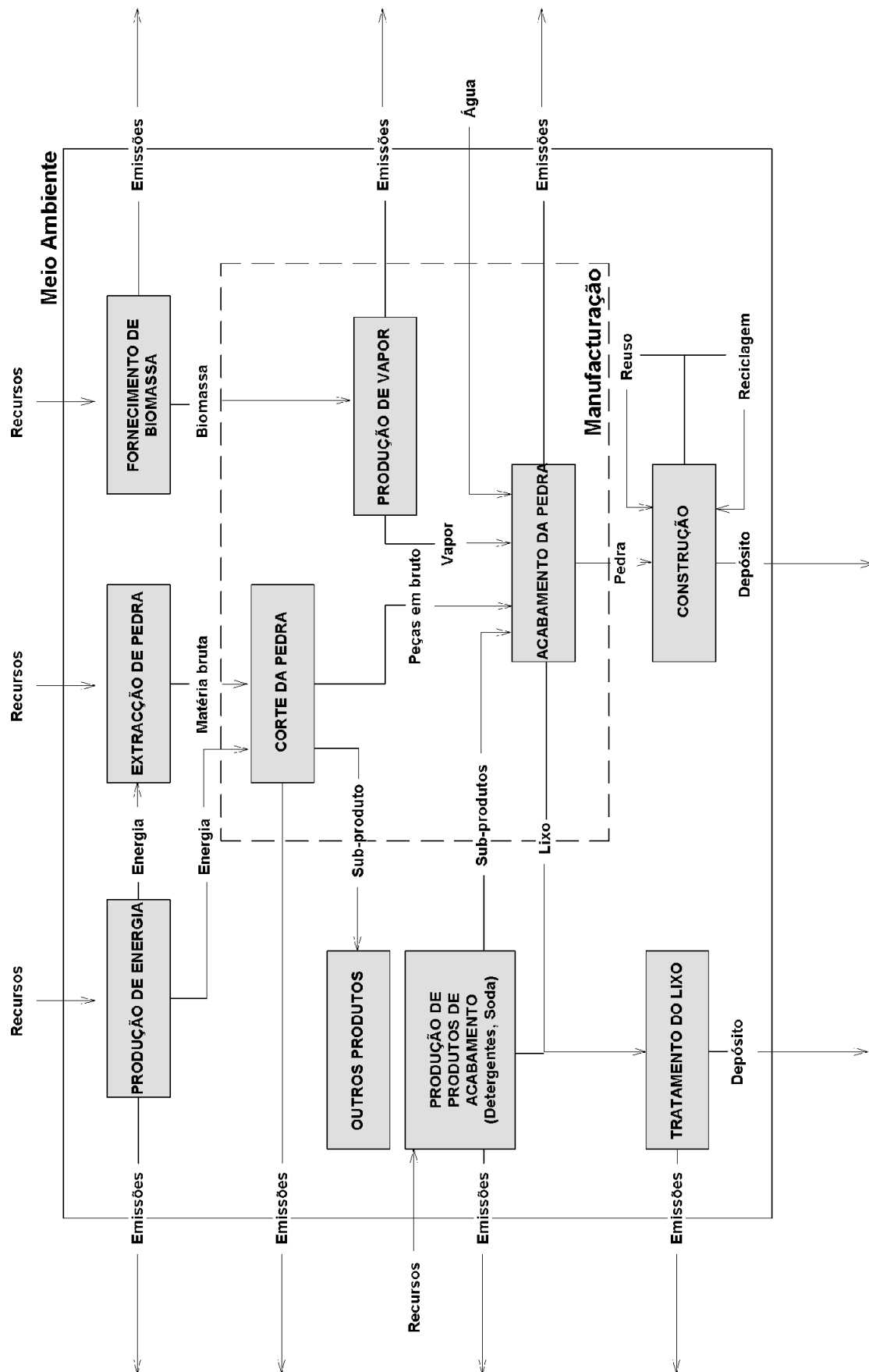


Figura 21: Exemplo de um fluxograma da produção de uma pedra para revestimento (Fonte própria)

É objetivo desta análise quantificar a energia e recursos necessários, tal como a quantificação das emissões para o meio ambiente. Este modelo é uma imagem abstrata da realidade, possibilitando a descrição matemática desta mesma.

Em casos de maior complexidade é vantajoso fazer a análise fracionada por etapas, utilizando uma lógica de módulos.

Segundo Sandra Lucas (2008) ao conduzir uma ACV é possível:

- Desenvolver um processo sistemático de avaliação das consequências ambiental associado a determinado produto ou solução;
- Quantificar as emissões ambientais associadas a cada etapa do ciclo de vida do produto;
- Avaliar os efeitos a nível humano e ambiental do consumo de matérias-primas e das emissões ambientais;
- Estabelecer uma análise comparativa entre vários produtos para uma mesma função.

A aplicação de ACV à construção deu-se praticamente em simultâneo com o próprio desenvolvimento da metodologia em si sendo, no início, realizada maioritariamente em ambientes académicos e não a nível profissional. Constatavam-se porém os seguintes obstáculos ou pontos fracos a resolver:

- A disponibilidade dos dados era reduzida facto que tornava as análises muito incompletas e portanto ineficientes;
- A falta de consistência na forma metodológica das bases de dados criava lacunas na interpretação dos resultados, devido a utilizar pontos de partida diferentes para a mesma análise;
- A elevada ponderação da fase da utilização implicava que a importância de todas as outras fases ficasse menos equilibrada;
- A grande dificuldade de elaboração, devido à falta de dados disponíveis, diminuía o valor conclusivo destas análises.

Existem várias ferramentas informáticas que utilizam a ACV como Eco-Quantum (Holanda), Eco-Effect (Suécia), ENVEST (Reino Unido), BEES (Estados Unidos), ATHENA (Canada), LCA House (Finland), o BRE e o Sima Pro.

Segundo Torgal (2011), a aplicação generalizada de análises de ciclos de vida ao setor da construção pressupõe a existência de levantamentos exaustivos sobre os impactes ambientais ao longo da sua vida útil, algo que dificilmente pode ser extrapolado a partir de estudos realizados noutros países, devido a diferenças óbvias que decorrem de diferentes contextos tecnológicos e económicos.

Lucas (2008) refere também que realizar uma ACV pode ser demorado e consumir elevados recursos. Dependendo de quão aprofundada é a ACV, a recolha de dados pode ser problemática e a sua disponibilidade pode ter um grande impacto na fiabilidade dos resultados finais.

### 3.2.3. RÓTULOS ECOLÓGICOS

Relativamente aos materiais sobrevêm maioritariamente a ferramenta de Rotulagem Ecológica e as EPD's (*Environmental Product Declaration*). Esta certificação é elaborada por uma entidade independente que avalia o desempenho ambiental de um produto, sendo a sua elaboração muito mais simples que uma ACV e os seus resultados inequívocos (TORGAL, 2011).

A rotulagem pode ser definida como o ato de atribuir uma característica ou uma marca distintiva a um produto. No caso concreto dos rótulos ecológicos a característica que se pretende atribuir está relacionada com o menor impacto ambiental associado a um produto, serviço ou empresa. Este tipo de avaliação resulta numa certificação que é gerida por entidades independentes.

A maioria dos rótulos ecológicos assenta numa avaliação dos impactes ambientais ao longo do ciclo de vida do produto ou material na versão *Cradle to grave*, no entanto simplificado e com um resultado inequívoco (TORGAL, 2011).

*Blaue Engel* foi o primeiro rótulo ecológico criado pela Alemanha em 1978, com o intuito de avaliar o uso eficiente de combustíveis fósseis, a redução de GEE e a redução do consumo de matérias-primas não renováveis.

Foi em 1988 que o Canadá criou um rótulo ecológico chamado *EcoLogo*, o qual aplicava critérios diversos conforme o produto em análise.

Os países do Norte da Europa criaram em 1989 o *Swan* estabelecendo um conjunto de critérios ambientais, de segurança no trabalho e qualidade. Posteriormente surgiu o *Eco-Label*, que é um sistema europeu criado em 1992 sendo que este rótulo ecológico comunitário é aplicado a artigos, no âmbito da União Europeia, estando os seus requisitos definidos no Regulamento CE 1980/2000. Este rótulo é aplicável a diferentes tipos de produtos desde que estejam definidos os critérios específicos a serem aplicados a esse tipo de produtos (ATP, 2011).

Ainda existem no Oriente o *Korea Eco-Label*, *Thai Green Label Scheme*, *ECOMARK* (Japão), *ECOMark Scheme of Índia*. Seguidamente (Fig. nº22) apresentam-se os rótulos segundo a ordem cronológica:



Figura 22: Vários logotipos dos rótulos ecológicos

(Fontes: [www.blauer-engel.de](http://www.blauer-engel.de); [www.ecolabelindex.com](http://www.ecolabelindex.com); [www.ecologo.org](http://www.ecologo.org); [www.nordic-ecolabel.org/](http://www.nordic-ecolabel.org/); [ec.europa.eu/environment/ecolabel/](http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/); [www.tei.or.th](http://www.tei.or.th); [www.ecomark.jpecosafesibm.wordpress.com](http://www.ecomark.jpecosafesibm.wordpress.com))



As desvantagens dos rótulos prendem-se com o facto de que cada identidade definir os seus próprios critérios e os requisitos ambientais a cumprir, mas o grande ponto fraco é não incluir o transporte do produto até ao local de aplicação.

Semelhantes aos rótulos são as *Environmental Product Declarations*, as designadas EPD's, em português: DAP – Declaração Ambiental de Produtos. A DAP faz uma listagem dos resultados obtidos em cada uma das categorias de impacte ambiental estudadas. São uma boa fonte para a quantificação do desempenho ambiental das matérias e produtos. São elaboradas conforme as PCR – *Product Category Rules*, ou seja, variam consoante o tipo de produto e estabelecem os princípios para a avaliação das categorias de acordo com as normas ISO 21930, ISO 14025 e ISO 14040. As PCR's descrevem como a avaliação deve ser feita e a listagem das categorias de impacte ambiental que deverão ser utilizadas na LCA. Os países mais envolvidos neste processo são a Suécia e a Alemanha (BRAGANÇA, 2011).

Segundo Braune (2007) os parâmetros utilizados para a elaboração das EPD's são:

- Consumo de Energia não renovável;
- Consumo de Energia renovável;
- Potencial de aquecimento global;
- Potencial de degradação da camada de ozono;
- Potencial de acidificação;
- Potencial de eutrofização.

As vantagens/objetivos das EPD's são: fornecer informação sobre o desempenho ambiental de um produto ou serviço, estimular a oferta e a procura de produtos ou serviços com menor impacte ambiental ao longo do ciclo de vida e induzir a melhoria do perfil ambiental dos produtos de outros fornecedores, conduzindo à redução da pressão ambiental associada à categoria de produto ou serviço. As EPD's são elaboradas, tal como as ACV, a partir das normas ISO 14040. Segundo Torgal estas têm uma desvantagem relativamente aos rótulos ecológicos pelo facto de não garantirem, à partida um determinado nível de desempenho ambiental, disponibilizando apenas um conjunto de informações, as quais só serão passíveis de interpretação por um especialista, não sendo por isso claras para o consumidor.

### 3.2.4. FERRAMENTAS CHECKLIST (DE CERTIFICAÇÃO)

O objetivo da certificação é promover uma consciencialização de todos os envolvidos no processo, desde da fase de projeto, passando pela construção, até o usuário final, incorporando soluções que irão permitir uma redução no uso de recursos naturais, promovendo conforto e qualidade para os seus usuários (VALENTE, 2009).

Os diversos sistemas de certificação existentes no mundo têm frequentemente categorias semelhantes mas formas de pontuação diferentes, tendem a especializar-se em determinadas tipologias e fases, e, organizam-se numa hierarquia de categorias, pré-requisitos e critérios (CABRAL, 2009) (ver ANEXO III).

A figura nº23 explicita a ordem cronológica dos principais sistemas de certificação:

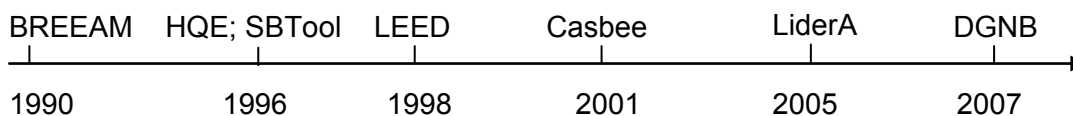


Figura 23: Seta cronológica da data de criação das ferramentas Checklist (Fonte própria)

**BREEAM**

O BRE (*Building Research Establishment*) do Reino Unido, desenvolveu o método BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*). Este foi o primeiro sistema de certificação de edifícios e é atualmente um dos métodos mais reconhecidos a nível internacional.

Foi desenvolvido nos anos 80, chegou ao mercado em 1990 e dá ao utilizador orientações com o objetivo de minimizar os efeitos adversos dos edifícios no ambiente local e global.

Para além de ser o sistema mais conhecido, tem uma extensa implementação no Reino Unido e inspirou vários outros sistemas em países anglo-saxónicos e em todo o mundo (CABRAL, 2009).

Pode-se afirmar que o BREEAM é o sistema mãe de todos os outros que foram desenvolvidos a seguir, uma vez que estes utilizam maioritariamente os mesmos conteúdos e esquemas de avaliação.

Inicialmente o BREEAM certificava apenas edifícios habitacionais e de escritórios em Inglaterra, tendo posteriormente evoluído para outros tipos de edifícios e para outros países.

O BRE foi inicialmente uma entidade estatal, fundada em 1921 ainda sobre o nome *Building Research Station*. Nesta fase investigava formas de habitação, materiais de construção, e, desenvolvia normas de regulamentação para estes. Coexistia com a *Forest Products Research Station*, com a qual se fundiu em 1972 para formar o BRE. Em 1997 deu-se a sua privatização e é a partir desta altura que o BRE se começou a focar na certificação de materiais e edifícios, assumindo o nome de *BRE Certifications*.

Apesar do BREEAM se ter expandido internacionalmente, a sua principal esfera de ação é em Inglaterra, tendo atingindo elevados números de aplicação na área da habitação, até por que, a partir de 2008, todas as construções novas tiveram que corresponder a um nível do *BREEAM Code for Sustainable Homes*.

A avaliação tem por base créditos atribuídos para um conjunto de critérios. Quando um edifício é avaliado usando o BREEAM, o resultado é um valor de

pontuação, que permite aos proprietários ou ocupantes reconhecer o desempenho ambiental dos seus edifícios.

Os créditos da avaliação são atribuídos pelo desempenho ambiental de acordo com os critérios definidos para cada uma destas categorias, o que conduz a uma pontuação. Um sistema de ponderação ambiental é aplicado ao longo de nove categorias, por forma a determinar classificação BREEAM final (ver ANEXO III):

- Gestão (influências e impacte do planeamento) – 12%
- Saúde e bem-estar (a influência do edifício sobre o utilizador) – 15%
- Energia (poupança energética) – 19%
- Transporte (influência do edifício no transporte individual devido á sua localização e inserção no tecido urbano) – 8%
- Água (redução do consumo de água) – 6%
- Materiais (impactes negativos de materiais) – 12,5%
- Ecologia (gestão de resíduos) – 7,5%
- Uso do solo (utilização do solo e os seus impactes no ambiente) – 10%
- Poluição (material, sonora, visual/luz) – 10%

Em alguns casos ainda é atribuído um critério extra que pontua a inovação do projeto – 10%. Cada categoria tem entre 5 a 13 parâmetros.

O sistema de ponderação aplicado é o resultado de um processo de consulta a um vasto grupo de profissionais e outros agentes no Reino Unido, e, é atualizada de periodicamente.

Os dados apresentam-se em duas formas (LUCAS, 2008):

- Quantitativos: consumo de energia e água, dados de materiais, perfil do sistema ambiental baseado em dados de ACV (usados para determinar os créditos atribuídos aos materiais).
- Qualitativos: o uso de balastros de alta-frequência na iluminação fluorescente (fator de saúde e conforto) ou outros esforços que tenham sido realizados para plantar novas árvores (fator de ecologia).

A avaliação é feita em duas fases: é atribuída uma pontuação a cada parâmetro de uma categoria e depois somada. Este somatório é multiplicado pelo valor ponderado da categoria. Após todas as categorias terem sido calculadas, são somadas as percentagens obtendo-se um valor final.

A pontuação é atribuída com base no nível de desempenho em relação a cada critério. O resultado global é depois traduzido na escala BREEAM de “Aprovado” com  $\geq 30\%$ , “Bom” com  $\geq 45\%$ , “Muito Bom” com  $\geq 55\%$ , “Excelente” com  $\geq 70\%$  e “excepcionalmente BOM” com  $\geq 85\%$ . O sistema de ponderação é pré-determinado e, consequentemente, os utilizadores não podem aplicar as suas prioridades individuais de ponderação.

No que concerne aos materiais são avaliados aspetos tais como o impacto ambiental da sua utilização na construção e o consumo responsável de recursos (a utilização de madeira certificada, por exemplo).

Em 2009 existiam 115 000 edifícios certificados no Reino Unido e registados 818 943 edifícios de habitação e 22 972 outros tipos de edifícios a nível mundial. Os principais países onde o BREEAM certificou são os EUA, Alemanha, Espanha, Turquia, Luxemburgo, Itália, Bélgica e França (EBERT, 2010).

As certificações que o BREEAM efetua dentro de Inglaterra são: BREEAM Offices, BREEAM Retail, BREEAM Education, BREEAM Industrial, BREEAM Healthcare, BREEAM Prisons, BREEAM Courts, BREEAM Other Buildings, The Code for - Sustainable Homes, BREEAM Eco-homes, BREEAM Eco-homes XB, BREEAM Multi-Residential, BREEAM Communities, BREEAM Domestic Refurbishment.

A nível internacional temos: BREEAM Europe Comercial, BREEAM Gulf, BREEAM International Bespoke e o BREEAM In-Use.

BREEAM Rating Benchmarks	
PASS	≥30%
GOOD	≥45%
VERY GOOD	≥55%
EXCELLENT	≥70%
OUTSTANDING*	≥85%

Minimum BREEAM Standards					
	Pass	Good	Very Good	Excellent	Outstanding
Achieved?	YES	YES	YES	YES	NO



Figura 24: Classificações do BREEAM e o seu certificado (Fonte: [www.bre.co.uk](http://www.bre.co.uk))

## HQE



A marca HQE - Haute Qualité Environnementale - já existe desde 1996, mas o sistema de certifica  o, que está disponível maioritariamente em francês, s   começou a ser utilizado em 2002.

A avalia  o francesa    subdividida em duas áreas: gestão do empreendimento - SMO (*Syst  me de Management de l'Opération*) e qualidade ambiental - QEB (*Qualité Environnementale du Bâtiment*), que avaliam as fases de projeto, execu  o e uso, cada qual com uma certifica  o em separado.

Os objetivos gerais são (ver ANEXO III):

- Constru  o ecológica (inser  o no local, métodos de constru  o e escolha de produtos)
- Gestão ecológica (eficiência energética e hídrica, manuten  o e lixo)
- Conforto (acústica, térmica, ilumina  o)
- Saúde (qualidade do ar e da   gua)

A certifica  o não se baseia num sistema de pontua  o mas em perfis ambientais previamente definidos pelo empreendedor. Na elabora  o são escolhidos itens que deverão atender aos níveis de desempenho definidos. São três os níveis de desempenho: o máximo (*Três Performant*), que representa os melhores níveis de desempenho que podem ser obtidos, o médio (*Performant*) e o mínimo (*Base*), que já corresponde às boas práticas correntes.

Para se obter a certifica  o, dos 14 itens a ponderar, quatro devem atender pelo menos ao nível médio, e pelo menos três ao nível máximo. As outras categorias devem enquadrar-se no nível base.

Não há classifica  o do desempenho do edifício em níveis, obtendo-se apenas a certifica  o ou não.

O sistema de base    sempre igual para todo o tipo de edifícios, havendo mudanças nos parâmetros de avalia  o conforme a fase do ciclo de vida e o tipo de edificado.

Cibles		
Eco construction	1	Relation du bâtiment avec son environnement immédiat
	2	Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction
	3	Chantier à faible impact environnemental
Eco gestion	4	Gestion de l'énergie
	5	Gestion de l'eau
	6	Gestion des déchets d'activité
	7	Maintenance - Pérennité des performances environnementales
Confort	8	Confort hygrothermique
	9	Confort acoustique
	10	Confort visuel
	11	Confort olfactif
Santé	12	Qualité sanitaire des espaces
	13	Qualité sanitaire de l'air
	14	Qualité sanitaire de l'eau

Figura 25: Critérios e parâmetros de avaliação do HQE (Fonte: [www.assohqe.org](http://www.assohqe.org))

## Sustainable Building tool - SBTool



O GBC (*Green Building Challenge*) é um consórcio constituído por mais de 25 países que desenvolveu um método de avaliação do desempenho ambiental dos edifícios.

A estrutura de avaliação foi produzida sob a forma de um *software* (GBTool) que facilita a completa descrição do edifício e do seu desempenho.

O GBTool pode trabalhar com novos edifícios ou projetos de renovação, foi implementado sobre uma folha do Microsoft Excel e pode ser descarregado tanto para fins de avaliação como educativos (LUCAS, 2008).

O SBTool consiste numa ferramenta de avaliação que tem vindo a ser desenvolvida e adaptada, por diversas equipas a nível mundial, no sentido de promover a adequação da sua aplicabilidade num contexto regional e local, em diversos países. Foi concebida para efetuar a análise na fase de projeto, embora seja possível a sua aplicação em quatro fases distintas: pré-projeto, projeto, construção e utilização (LIBRELOTTO, 2006).

Esta ferramenta consiste numa avaliação global do edifício através da análise de diversos parâmetros, os quais podem ser dimensionados de acordo com as necessidades. Esta adequação consiste na ponderação relativa dos pesos dos diversos parâmetros sob análise e na avaliação face às características e necessidades da região em que o edifício se localiza. Neste sentido, deverá existir a intervenção de uma organização que defina estes parâmetros de acordo com as características da região, criando um sistema homogêneo de aplicação do sistema a determinadas tipologias elegíveis de ocupação, com uniformidade nas ponderações, padrões, que permitem a comparação entre edifícios, e de valores relativos às emissões (COLE, 1999).

Os dados utilizados nesta ferramenta são de dois tipos diferentes:

- Dados quantitativos: valores estatísticos, detalhados, dos previsíveis consumos de energia, água, terreno, materiais, emissões atmosféricas, e também aspetos mensuráveis das condições ambientais do ar interior.
- Dados qualitativos: aspetos relacionados com o ambiente interior, questões de saúde, aspetos relacionados com o design, planeamento do design e da operação do edifício e, gestão de aprovisionamentos e cargas



ambientais na zona envolvente, sobretudo em termos dos efeitos na vizinhança ou nas propriedades adjacentes.

Existem 23 edifícios certificados sendo que, em Portugal, o alvo foi o edifício do Instituto do Ambiente (Amadora). O sistema, inicialmente com 6 vertentes, viria a englobar mais tarde as questões económicas e culturais, alterando a sua denominação para SBtool (CABRAL, 2009).

O SBTool<sup>PT</sup> é o resultado da adaptação do SBTool internacional à realidade portuguesa, tendo sido este processo conduzido pela Associação iISBE Portugal em colaboração com o LFTC-UM e a ECOCHOICE.

O sistema SBTool<sup>PT</sup> está dividido em três dimensões que englobam nove categorias e 30 parâmetros (ver ANEXO III).

Relativamente à dimensão ambiental, estão englobadas as seguintes categorias: alterações climáticas e qualidade do ar exterior; biodiversidade, energia, utilização de materiais, produção de resíduos sólidos, consumo de água e efluentes; no caso da dimensão social encontramos: o conforto e saúde dos ocupantes, bem como a acessibilidade e a sensibilidade e educação para a sustentabilidade; e ainda, na dimensão económica, a avaliação dos custos de ciclo de vida dos edifícios (custo inicial e custos de operação).

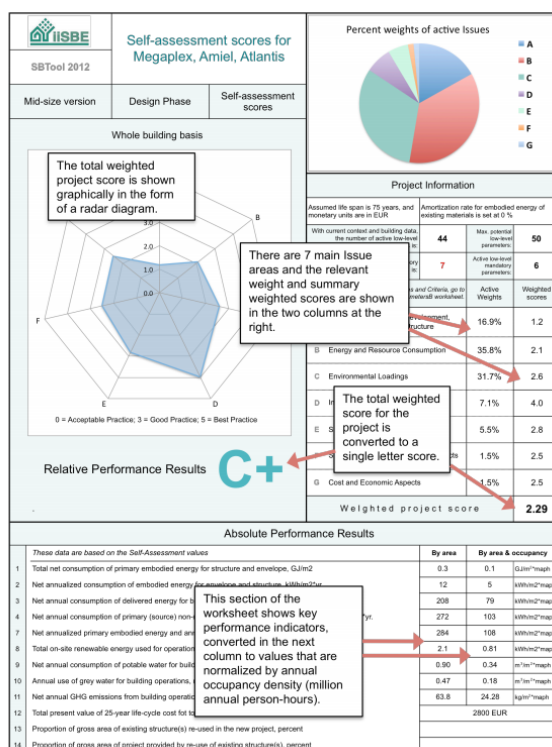


Figura 26: Folha de avaliação com os resultados do SBTool (Fonte: <http://www.iisbe.org>)

## LEED



O sistema de classificação de edifícios sustentáveis LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é um programa prioritário do *United States Green Building Council* desenvolvido nos anos 90. É um sistema de avaliação de edifícios orientado pelo mercado, independente, e que se baseia em tecnologia existente e testada. Inicialmente só abrangia o mercado americano, mas entretanto expandiu a sua aplicabilidade também para outros países (LEED Índia, LEED Canadá, LEED Brasil).

O LEED iniciou-se em 1993, com um projeto piloto, mas só em 1998 foi apresentada a primeira versão do LEED ao mercado. Desde então foram desenvolvidas novas versões que englobam algumas alterações.

O sistema pioneiro chamava-se LEED NC, destinava-se a edifícios de escritórios e tem sido aplicado à maioria dos novos edifícios institucionais.

Possuía até ao ano 2008 dez versões diferentes. Encontravam-se registados até 2008 mais de 2 milhares de edifícios certificados nos EUA e no estrangeiro. Em 2004 o LEED foi adaptado e adotado pelo mercado canadiano (CABRAL, 2009).

O LEED avalia o desempenho ambiental na perspetiva de todo o edifício ao longo do seu ciclo de vida, proporcionando um padrão definitivo para aquilo que constitui um edifício sustentável. Tanto os edifícios habitacionais como os escolares, os hospitalares e os centros comerciais são avaliados pelo LEED.

O foco concentra-se principalmente em aspetos ecológicos e sociais, tais como a eficiência energética, a utilização da água, a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, a qualidade dos espaços interiores, ou ainda a menor exploração de recursos materiais.

O LEED define requisitos mínimos obrigatórios para: funcionamento do edifício, eficiência energética, qualidade do ar interior, depleção da camada de ozono, CFCs, proibição de fumar, conforto e água.

As categorias do LEED são (a ponderação depende do tipo de edifício em análise) (ver ANEXO III):

- Desenvolvimento sustentável do local (21-28%)
- Eficiência da água (10-14%)
- Energia e atmosfera (33-37%)
- Materiais e recursos (10-14%)
- Qualidade ambiental interna (12-19%)
- Inovação e processo de projeto (6%)
- Aspectos locais (4%)

A estrutura do sistema baseia-se em pontos que são atribuídos a parâmetros de uma categoria. O parâmetro é cumprido ou não, sendo em caso positivo atribuídos os pontos. Como não existe nenhuma ponderação, os pontos são simplesmente todos somados para a obtenção do resultado final. Existem ainda requisitos mínimos estabelecidos, os quais têm que ser observados para obter uma certificação positiva, ou seja, tem que: haver uma redução de 20% no consumo médio da água (relativo a um valor de referência), existir um controlo de qualidade dos sistemas energéticos a implementar, respeitar a Standards ASHRAE 90.1-2007, etc..

O LEED divide-se nas seguintes categorias: *LEED-NC “New Construction”*, *LEED-EB “Existing Buildings”*, *LEED-CI “Commercial Interiors”*, *LEED-CS “Core and Shell”*, *LEED-H “Housing”*, *LEED-ND “Neighbourhood Development”*, *LEED Volume Certification*, *LEED for Healthcare*, *LEED-Retail* e *LEED-Schools*, entre outros.

A classificação divide se em “Certificado” com 40-49%, “Prata” com 50-59%, “Ouro” com 60-79% e “Platina” com  $\geq 80\%$ .



Figura 27: Classificações e certificado do LEED (Fonte: [www.usgbc.org](http://www.usgbc.org))

## CASBEE



O CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*) é o sistema de avaliação de construção sustentável do Japão. Este sistema tem por base a análise ciclo de vida, utilizando dados estatísticos dos previsíveis consumos de energia, água, terreno, materiais e emissões ambientais, bem como outros aspetos mensuráveis das condições ambientais interiores. Esta ferramenta analisa o projeto apresentando um novo conceito de avaliação que distingue os impactes ambientais da qualidade do desempenho do edifício. Ao relacionar estes dois fatores, os resultados são apresentados como uma medida de ecoeficiência. Cada critério é pontuado do nível 1 ao nível 5, em que o nível 1 define que se alcançaram os requisitos mínimos, o nível 3 significa que se atingiram os níveis técnico e social típicos na altura da avaliação e o nível 5 representa o ponto mais alto de eficiência (LUCAS, 2008).

Os critérios para a avaliação da qualidade ambiental e desempenho do edifício são (ver ANEXO III):

- Ambiente interior: Ruído e acústica, conforto térmico, luz e iluminação, qualidade do ar.
- Qualidade de serviço: aptidão do serviço, durabilidade, viabilidade e adaptabilidade.
- Ambiente exterior do local: Manutenção e criação do ecossistema, paisagem urbana e ecológica, características locais e cultura.

Os critérios para a avaliação da redução das cargas ambientais do edifício são:

- Energia: Carga térmica, utilização da energia natural, eficiência no sistema do edifício, eficiência de serviço.
- Recursos de materiais: Recursos de água, ecomateriais.
- Ambiente exterior às fronteiras: Poluição do ar, odores e ruídos desagradáveis, danos do vento, danos na iluminação, efeito de ilha de calor, sobrecarga da infraestrutura local.

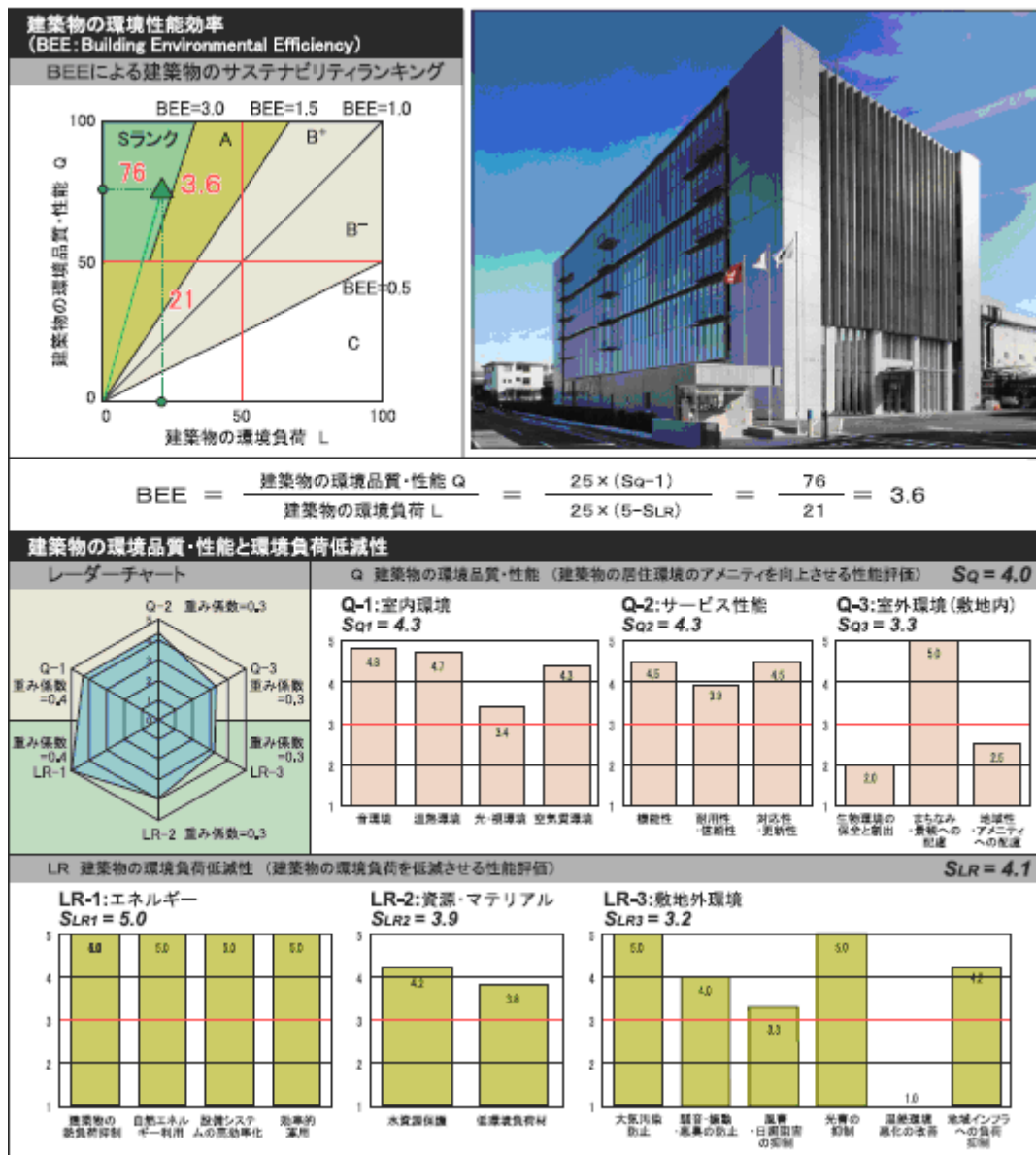


Figura 28: Folha de avaliação com os resultados do Casbee (Fonte: [www.eco.pref.mie.lg.jp](http://www.eco.pref.mie.lg.jp))

## LiderA



O sistema LiderA é o primeiro sistema português de classificação ambiental de edifícios. O LiderA foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura do Instituto Superior Técnico, e encontra-se atualmente disponível a versão 2.0 (desde 2009). Esta versão é destinada não só a edifícios, mas também a espaços exteriores, zonas mais alargadas, incluindo quarteirões, bairros e empreendimentos de várias escalas (LiderA, 2012).

O sistema divide-se em seis categorias a que correspondem 50 critérios de avaliação. A avaliação do desempenho é classificada de acordo com um sistema que vai do nível G ao nível A++. Ao nível mais baixo corresponde o cumprimento das exigências mínimas legais.

Vertentes e áreas:

Para o LiderA a procura de sustentabilidade nos ambientes construídos assenta em seis princípios a serem adotados, os quais abrangem as seis vertentes consideradas no sistema. Os princípios sugeridos para a procura da sustentabilidade são os seguintes:

- 1 – Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração;
- 2 – Fomentar a eficiência no uso dos recursos;
- 3 – Reduzir o impacto das cargas (quer em valor, quer em toxicidade);
- 4 – Assegurar a qualidade do ambiente, focada no conforto ambiental;
- 5 – Fomentar as vivências socioeconómicas sustentáveis;
- 6 – Assegurar a melhor utilização sustentável dos ambientes construídos através da gestão ambiental e da inovação.

Estas seis vertentes com 22 áreas incluem um conjunto de pré-requisitos e critérios que permitem avaliar o desempenho ambiental e o respetivo nível de procura da sustentabilidade.

Em cada área os critérios dispõem de igual importância, pelo que, o seu agrupamento, permite a classificação relativa a cada uma das 22 áreas. Para obter um valor agregado a classificação final conjugada é obtida através da

ponderação das várias áreas. Para o efeito, através de inquirição e consenso, foram obtidas as ponderações para cada uma das áreas (ver ANEXO III):

- integração local (14%), no que diz respeito ao solo, aos ecossistemas naturais e paisagem e ao património;
- recursos (32%), abrangendo a energia, a água, os materiais e os recursos alimentares;
- cargas ambientais (12%), envolvendo os efluentes, as emissões atmosféricas, os resíduos, o ruído exterior e a poluição ilumino-térmica;
- conforto ambiental (15%), nas áreas da qualidade do ar, do conforto térmico e da iluminação e acústica;
- vivência socioeconómica (19%), que integra o acesso para todos, os custos no ciclo de vida, a diversidade económica, as amenidades e a interação social e participação e controlo;
- gestão ambiental e inovação (8%) (PINHEIRO, 2009).



Figura 29: Certificado do LiderA (Fonte: [www.lidera.info](http://www.lidera.info))

## DGNB



*Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen* (DGNB) é o sistema alemão de certificação, tendo sido criado em 2008. Enquanto que na Europa se desenvolveram muitos sistemas nos anos 80 e 90, a Alemanha só em 2007 apresentou ao mercado um sistema próprio, relativamente tarde e desfasado, em alguns casos, quase 15 anos. Seguiu-se uma outra via: em 1977 criou-se uma Portaria para o Isolamento dos edifícios (WSchVO), a qual foi atualizada em 1982, 1995 e 2002, transformando-se então na Portaria de eficiência energética (ENEV).

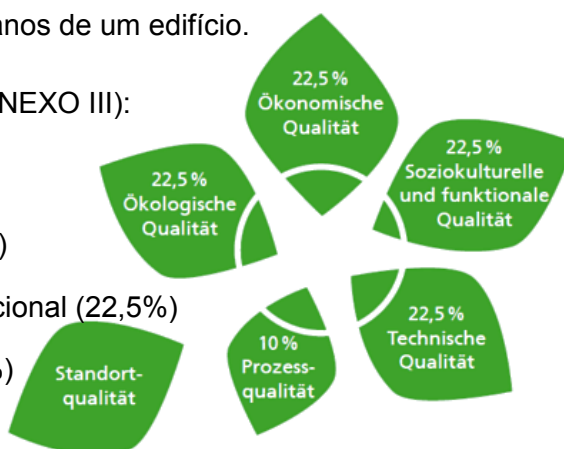
Esta legislação, no que respeita à sustentabilidade, apenas balizava a eficiência energética, deixando de parte os outros aspetos. O DGNB veio colmatar essa necessidade, incluindo critérios mais vastos de ecologia e impacte ambiental e ainda critérios sociais/funcionais e económicos.

Em 2008 foi publicado o primeiro catálogo dos critérios. Só existe ainda certificação para edifícios de escritórios, encontrando-se em fase de teste as certificações de mercados, centros comerciais, indústria, ensino, habitação, hotéis e remodelações. Em fase de desenvolvimento encontram-se os edifícios hospitalares, aeroportos e áreas urbanas.

A certificação não é obrigatória e divide-se em duas fases: uma pré-certificação que incide sobre a fase de projeto, em que estabelece critérios e metas, e o certificado que é apenas emitido após a conclusão da obra, averiguando o cumprimento das opções tomadas na pré-certificação. A ACV é a base do sistema e contabiliza o tempo de vida de 50 anos de um edifício.

O sistema tem seis categorias (ver ANEXO III):

- Qualidade ecológica (22,5%)
- Qualidade económica (22,5%)
- Qualidade sociocultural e funcional (22,5%)
- Qualidade tecnológica (22,5%)
- Qualidade do processo (10%)
- Qualidade do local





A última categoria no entanto não entra para a avaliação do edifício sendo elaborada à parte. As outras cinco são somadas, após ponderação, resultando na avaliação final.

Estas seis categorias incluem 63 parâmetros e correspondem à norma DIN V 18 599.

A classificação divide-se em “Bronze” com 50-64%, “Prata” com 65-79% e “Ouro” com  $\geq 80\%$ .

Todas as informações disponíveis em [www.dgnb.de](http://www.dgnb.de).

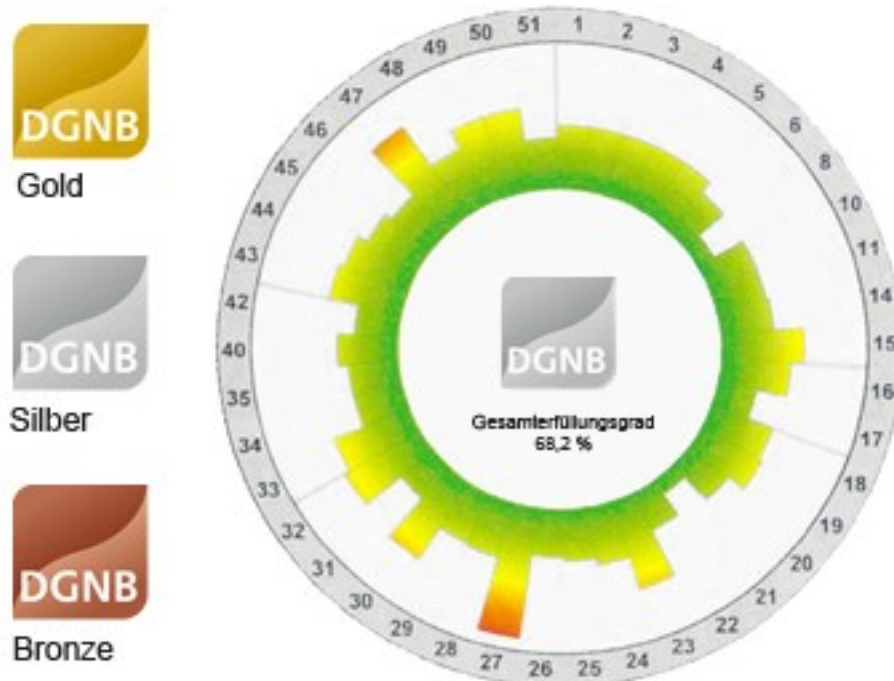


Figura 30: Roda de avaliação de DGNB (Fonte: <http://www.dgnb-system.de>)

### 3.2.5. FERRAMENTAS DE ACV PARA MATERIAIS E PRODUTOS

#### ATHENA



**Athena**  
Sustainable Materials  
Institute

Esta ferramenta, desenvolvida pelo *Athena Sustainable Institute* no ano 2000, faz uma análise comparativa, até 5 soluções construtivas, do seu desempenho ambiental com uma exposição gráfica em barras e tabelas (Fig. nº31).

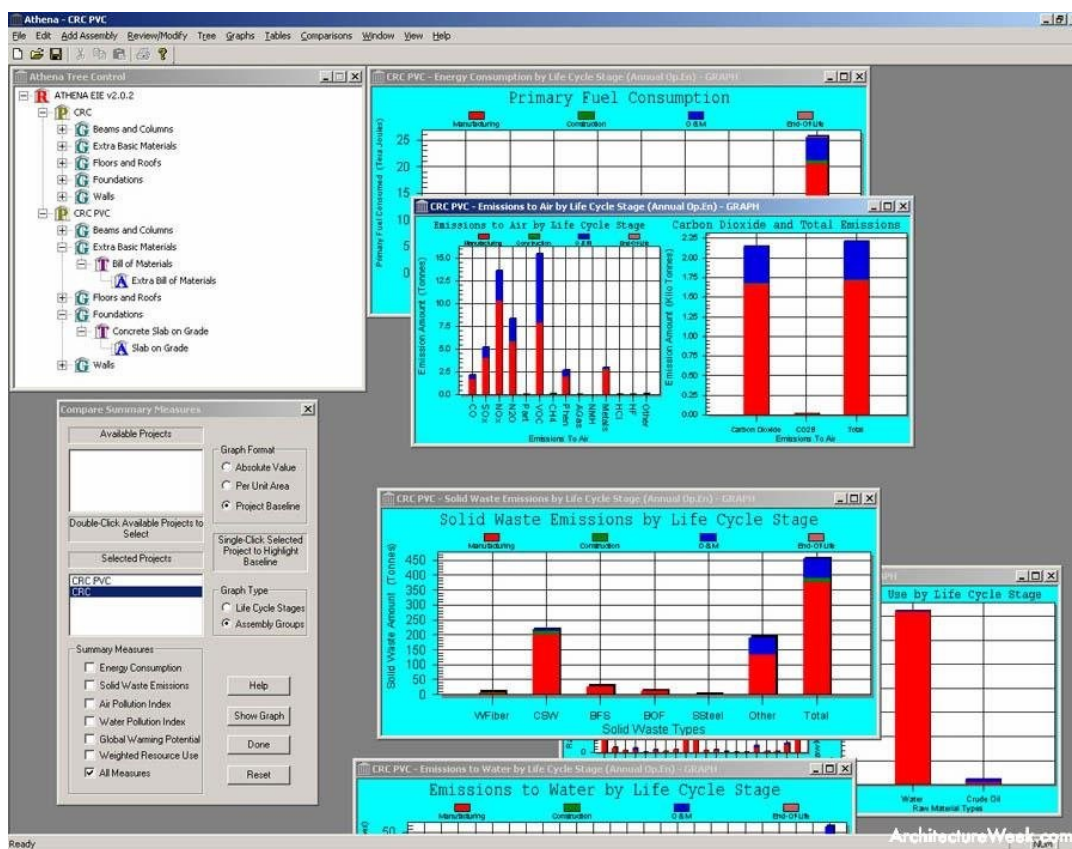


Figura 31: Interface Athena (Fonte: <http://www.architectureweek.com>)

É feita uma ACV a qual, não sendo visível no seu pormenor, apresenta apenas os resultados finais. Os critérios de avaliação são todos de caráter ecológico: potencial de aquecimento global, emissões de resíduos sólidos, emissões para o ar e a água, consumo de matéria-prima e consumo de energia primária. Os dados a introduzir são de caráter genérico no que concerne a localização do projeto, a área bruta, o tempo de vida estimado do edifício e o tipo de construção, sendo ainda escolhido o tipo de estrutura e selecionadas as quantidades dos materiais individuais. O resultado mostra os critérios individualmente ou agrupados.

## AUDIT



AUDIT é um programa de gestão e de controlo ambiental utilizado para a avaliação e a simulação de sistemas. Foi lançado em 1995 para realizar análises de fluxos de material e divide-se nas seguintes secções:

*AUDIT-Base* (editor de fluxograma gráfico), *AUDIT-Balance* (balanço e verificação de massas), *AUDIT-Cost* (cálculo de custos), *AUDITORIA-Chart* (representação gráfica dos resultados em tabelas e diagramas), *AUDIT-Environment* (lista de substâncias ecologicamente relevantes), *AUDIT-Sankey* (representação gráfica dos fluxos), *AUDIT-Combustion* (emissões e energia) e *AUDIT-Connect* (bancos de dados e links). A ferramenta faz, em várias soluções construtivas, uma análise comparativa do seu desempenho ambiental com a apresentação gráfica em barras e em gráficos de dispersão, descrevendo os resultados das várias fases de vida do sistema construtivo, com critérios económicos e ecológicos.

A seguinte figura nº32 apresenta o interface desta ferramenta, demonstrando a seleção dos produtos, os resultados e avaliação comparativa entre os vários produtos concorrentes.

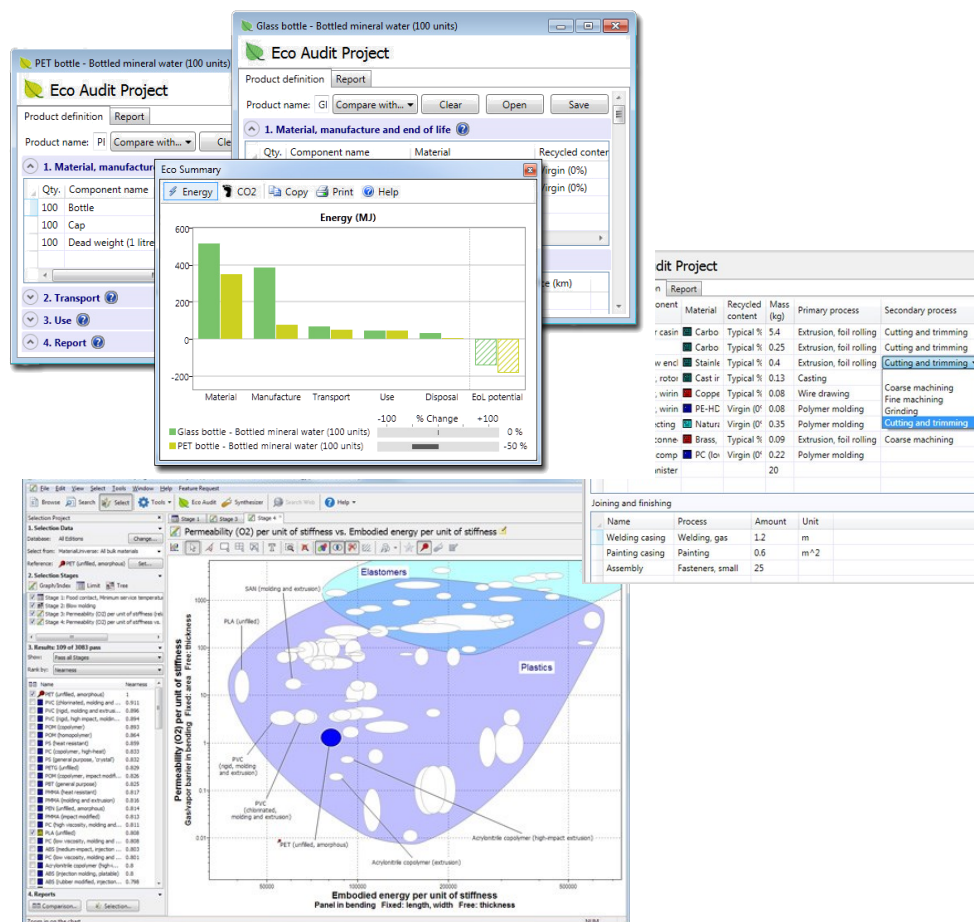


Figura 32: Interface Audit (Fonte: <http://www.grantadesign.com>)

## BEES



O BEES foi desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* em 1994. Esta ferramenta foi atualizada a última vez em 2010 e contém 230 produtos de construção, ou seja, o utilizador seleciona os materiais disponíveis na ferramenta e não tem que introduzir os dados quantitativos.

É realizada uma ACV, respeitando a ISO 14040, mas é igualmente feita uma avaliação económica ao longo de todo o ciclo de vida do produto. Os critérios são: a depleção de recursos, o aquecimento global, a acidificação, a eutrofização, a qualidade do ar interior, os resíduos sólidos, o *smog*, a destruição da camada de ozono, a toxicidade ecológica e humana, e, o custo inicial e futuro. Os indicadores ecológico e económico são ponderados e agregados numa média geral, podendo assim ser efetuada uma análise comparativa da avaliação final. Os resultados parciais são representados em gráficos de barras (Fig. nº34). A estrutura conceptual do BEES é ilustrada na seguinte figura nº33:



Figura 33: Esquema de avaliação do BEES (Fonte: <http://www.nist.gov>)

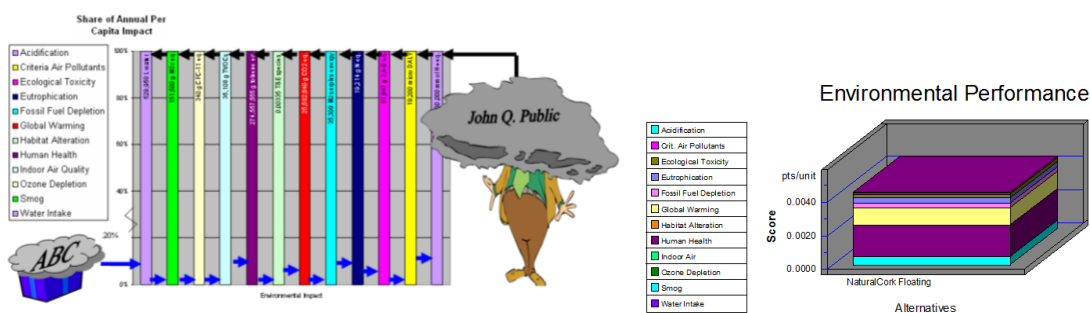


Figura 34: Interface BEES (Fonte: <http://www.nist.gov>)

## Eco-Quantum

Os resultados desta ferramenta são simulações que evidenciam as consequências ambientais da escolha de um determinado material. É feita uma ACV com os seguintes critérios: Consumo de energia, água e matéria-prima, emissões para o ar e para a água e resíduos sólidos. Os resultados são agrupados em quatro indicadores que são visíveis na figura nº35 (depleção de recursos, emissões, consumo de energia e resíduos produzidos). É ainda efetuado um somatório do desempenho ambiental geral, o qual é relacionado com um valor médio, podendo desta forma o utilizador comparar ambas as soluções.

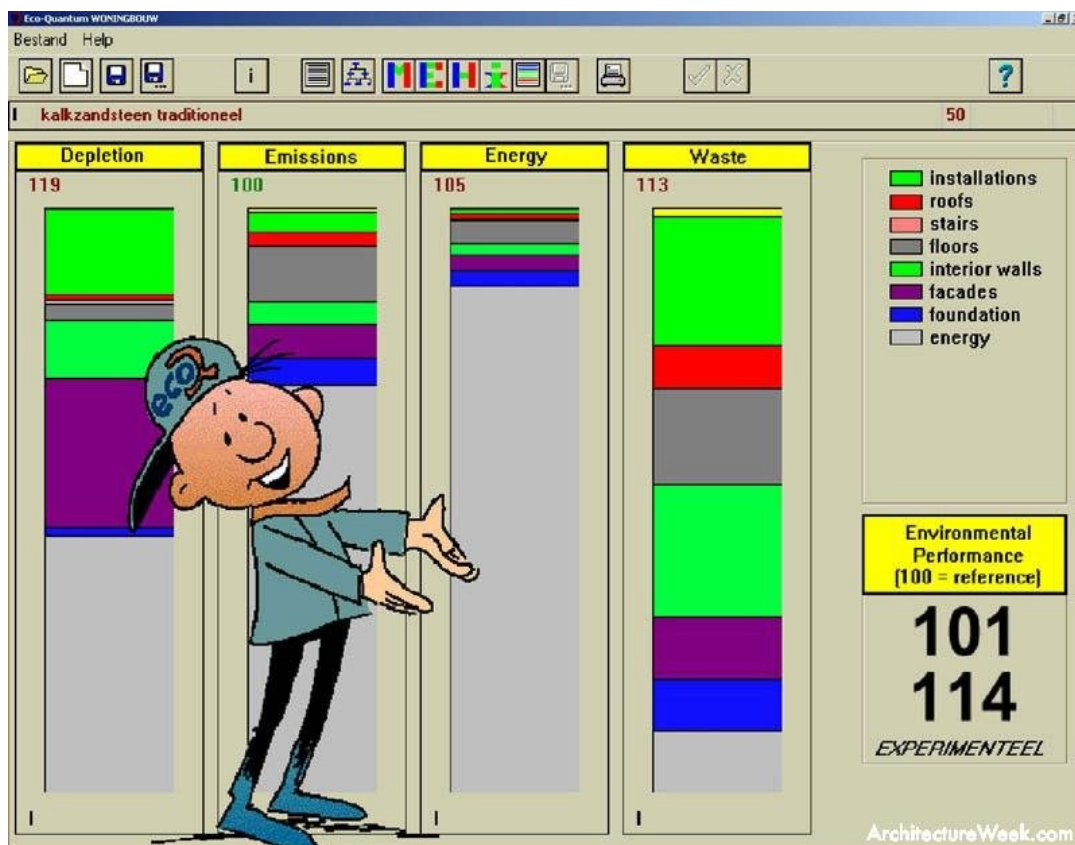


Figura 35: Interface Eco-Quantum. Fonte: <http://www.grantadesign.com>



## GaBi



GaBi é um *software* que executa ACVs para produtos e edifícios tendo iniciado a sua comercialização em 1992. Atualmente GaBi está disponível na sua quinta versão.

À primeira vista, aparenta ser um instrumento complexo e algo confuso, no entanto, após a primeira fase de conhecimento da ferramenta, demonstra ser bastante eficiente. Este software carece de introdução dos fluxos dos vários processos ao longo do ciclo de vida do produto sendo, por conseguinte, o utilizador que o modela. Para os cálculos, o GaBi utiliza bases de dados extensas, sendo que alguns incluem fluxos de padrão. As bases de dados utilizadas pelo GaBi são: GaBi banco de dados, Ecoinvent (*cradle to gate*) e dos U.S. LCI banco de dados (*cradle to grave*).

O inventário do material possibilita vários níveis de detalhe ao fazer a sua avaliação. Existem três dimensões consideradas: uma componente ecológica, uma económica e uma relativa ao conforto do usuário (Fig. nº36). O usuário pode definir parâmetros dentro destas três dimensões de análise. Um dos onze parâmetros ambientais é o que concerne a qualidade do material, resultando num índice de consumo de matéria-prima. A representação gráfica dos resultados não é muito prática, só se conseguindo visualizar Outputs separadamente em diagramas. A elaboração de um resultado geral não é clara, mas é possível a avaliação individual dos diferentes parâmetros. Os resultados podem ser exportados para uma folha de Excel, permitindo assim que o utilizador possa melhorar graficamente os resultados à posteriori. Todas as informações em [www.gabi-software.com](http://www.gabi-software.com).

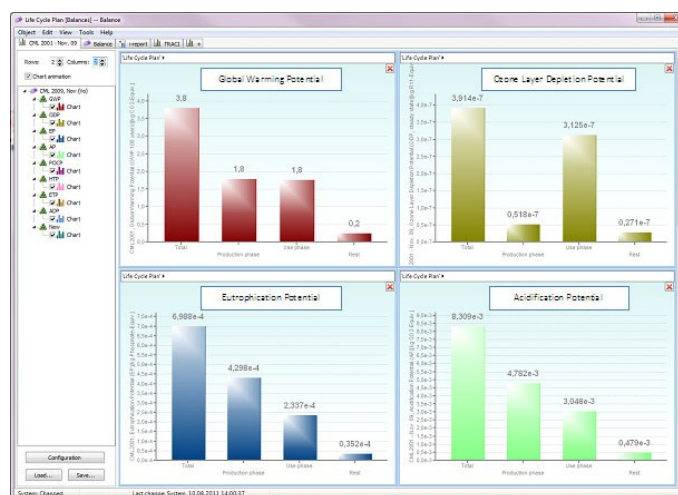


Figura 36: Interface GaBi (Fonte: [www.gabi-software.com](http://www.gabi-software.com))

## MARS-SC

MARS-SC significa Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas, e, foi desenvolvida em 2006 pelos Engenheiros Bragança e Mateus na Escola de Engenharia do Porto, Portugal. Esta ferramenta avalia a sustentabilidade das soluções construtivas para cada elemento construtivo. São, para o efeito, consideradas três dimensões: ambiental, social / funcional e económica, alicerçadas em três indicadores, os quais englobam parâmetros que dependem dos objetivos da avaliação específica. O autor Bragança define que a sustentabilidade é uma questão relativa, a qual deve ser avaliada comparativa e relativamente à prática corrente – a solução de referência – num determinado país ou local. Cada parâmetro é analisado no sentido de aferir se a solução em estudo é melhor ou pior do que uma solução de referência. O patamar mínimo de sustentabilidade corresponde à solução com mais expressão no mercado, devendo ser ajustado ao longo do tempo em função do desenvolvimento tecnológico. A solução mais sustentável depende daquilo que o limite tecnológico pode proporcionar em cada momento. Segundo Balteiro (2003), a metodologia normaliza os dados através do cálculo, e, seguidamente, agrega os dados de cada categoria (ambiental, social / funcional e económica) em indicadores. Estes indicadores são a média ponderada de todos os parâmetros anteriormente normalizados. O indicador económico é o somatório de todos os custos ao longo do ciclo de vida, portanto é efetuada uma soma simples sem ponderações. Nos indicadores o MARS-SC efetua ponderações entre os parâmetros conforme o entendimento da importância de cada parâmetro individual. Os indicadores também são ponderados para a obtenção do grau de sustentabilidade relativo. Os resultados são apresentados em tabelas, com os valores finais e das etapas anteriores, e ainda, transformados em gráficos em forma de radar para possibilitar uma interpretação fácil e intuitiva dos valores numéricos dos resultados (Fig. nº37).

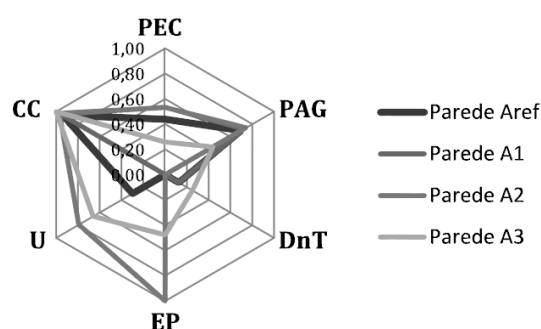


Figura 37: Representação gráfica dos resultados do MARS-SC (Fonte: FERNANDO, 2010)

## SimaPro



SimaPro LCA é um *software* que foi desenvolvido em 1994 pelos Pré Consultores na Holanda. Este *software* foi projetado para avaliar produtos e compará-los por meio do cálculo de indicadores ecológicos e EPS.

Está disponível em duas versões: uma versão maior e complexa a qual é mais adequada para profissionais do meio ambiente, e uma versão simplificada para projetistas e designers.

O utilizador tem que inserir as seguintes informações: os componentes do produto, a sua forma de produção, o seu uso e a sua possível devolução à natureza. Com esta informação o *software* calcula o impacto ambiental do ciclo de vida completo do produto. Os resultados são graficamente bem representados facilitando a sua leitura e interpretação (Fig. nº 38). O *software* usa um banco de dados abrangente que permite efetuar os cálculos, sendo que a base de dados pode ser expandida pelo usuário. Os critérios de avaliação são: o consumo de combustíveis fósseis e de recursos minerais, o uso do terreno, as chuvas ácidas, a ecotoxicidade, as alterações climáticas, a destruição da camada de ozono, as substâncias perigosas, os efeitos no sistema respiratório e a radiação ionizante. Os critérios podem ser ponderados pelo utilizador. O *software* é revisto e atualizado regularmente, encontrando-se neste momento na versão 7.1. Todas as informações em <http://www.simapro.co.uk>.

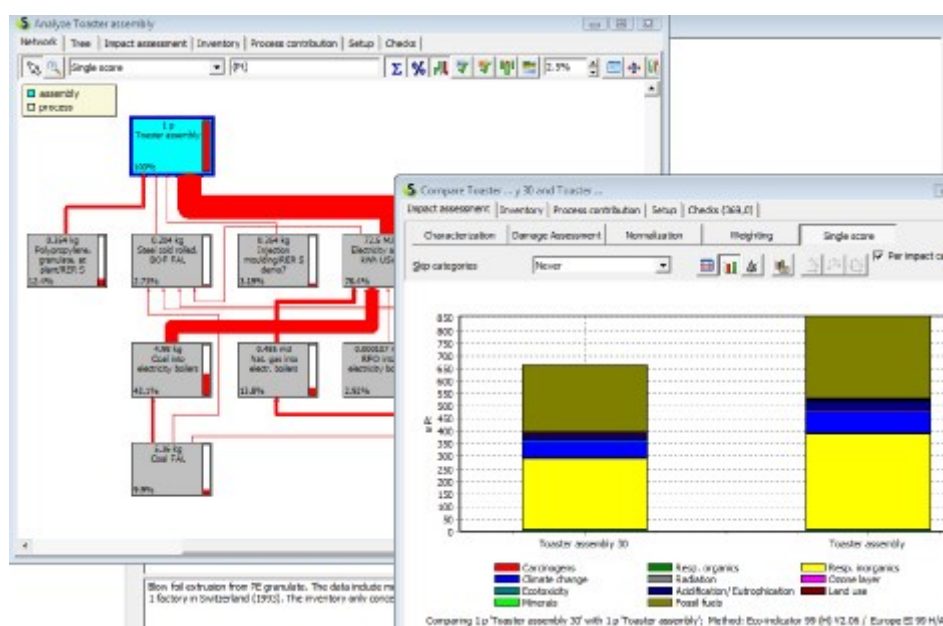


Figura 38: Interface SimaPro (Fonte: <http://www.simapro.co.uk>)



## UMBERTO

umberto® 5

UMBERTO, desenvolvido em 1995, calcula a avaliação do ciclo de vida de produtos e processos e faz estimativas de custo. O utilizador, para modular o ciclo de vida do produto, tem que definir as várias fases e seleccionar a energia e os fluxos de materiais envolvidos.

Todos os fluxos são representados graficamente, a fim de simplificar a análise. Podem ser feitos balanços de massa e de energia para o sistema todo ou para partes do sistema. A representação gráfica dos resultados pode ser processada em dois ou três gráficos de pizza, gráficos de barras bidimensionais e séries temporais de radar (Fig. nº 39). Este *software* foi concebido para avaliar e comparar os produtos entre si, e integra uma base de dados abrangente a qual pode ser expandida pelo usuário. Todas as informações em <http://www.umberto.de>.

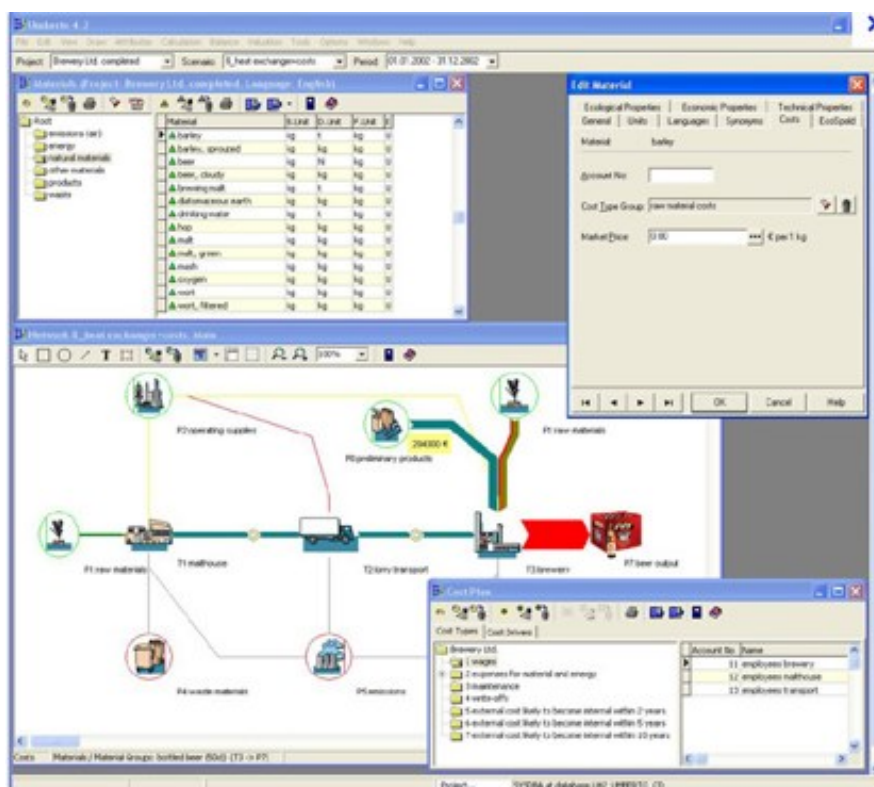


Figura 39: Interface Umberto (Fonte: <http://www.umberto.de>)

### 3.2.6. COMPARAÇÃO DAS FERRAMENTAS EXISTENTES

A ACV é sem dúvida a metodologia cientificamente correta para se avaliar um produto/material na sua vertente ecológica, não obstante mostrar-se muito morosa e difícil de executar devido à falta de dados acessíveis e à difícil realização e interpretação para um utilizador não especializado. Para uma avaliação de grau de sustentabilidade, esta metodologia tem como lacuna o facto de não incluir parâmetros sociais e económicos na sua realização.

Os rótulos ecológicos têm uma leitura bastante mais acessível para um utilizador não especializado, sendo efetivamente muito práticos e apetecíveis, porém deixam muito a desejar, tal como a ACV, no que diz respeito à inclusão dos parâmetros sociais e económicos, e mesmo na análise ecológica não são incluídos fatores como o transporte até ao local e a adequabilidade do material no local do projeto, ou seja, a avaliação não é feita sobre o ciclo de vida completo. Acresce ainda o facto de os parâmetros de avaliação não serem claros e uniformes, ou seja, a base das premissas não ser realmente adequada.

Torgal (2011) adianta que as EPD enfermam do mesmo problema que as ACV, ou seja, a dificuldade na execução e na interpretação, bem como o facto de não garantirem à partida um determinado nível de desempenho ambiental, disponibilizando apenas o conjunto de informação sem serem sintetizadas. E, uma vez mais, não incluem os parâmetros sociais e económicos.

As ferramentas de Checklist/Certificação de edifícios podem ser comparadas entre si em seis níveis: as suas metas, as categorias, os critérios, os indicadores, a ponderação e os resultados.

As metas são de forma geral semelhantes uma vez que tentam atingir valores que são estabelecidos a nível internacional. O LEED, DGNB e LiderA têm seis categorias, o GBTool sete, o BREEAM dez e o HQE apenas quatro.

A tabela seguinte (tabela nº2) compara as categorias destas seis ferramentas:

Tabela nº2: Categorias de algumas ferramentas Checklist. (Fonte própria)

BREEAM (UK)	LEED (USA)	GBTool (Canada)	LiderA (Portugal)	HQE (França)	DGNB (Alemanha)
<ul style="list-style-type: none"><li>• Gestão</li><li>• Energia</li><li>• Transportes</li><li>• Poluição</li><li>• Materiais</li><li>• Água</li><li>• Uso do solo</li><li>• Saúde e bem-estar</li><li>• Emissões</li><li>• Inovação</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Locais sustentáveis</li><li>• Eficiência no uso da água</li><li>• Energia e atmosfera</li><li>• Materiais e recursos</li><li>• Processos de design</li><li>• Qualidade do ambiente interior</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Consumo de recursos</li><li>• Cargas ambientais</li><li>• Qualidade do ar interior</li><li>• Qualidade do serviço</li><li>• Economia</li><li>• Manutenção de operações</li><li>• Transportes diários</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Local e integração</li><li>• Recursos</li><li>• Cargas ambientais</li><li>• Ambiente interior</li><li>• Durabilidade e acessibilidade</li><li>• Gestão ambiental e inovação</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ecoconstrução</li><li>• Ecogestão</li><li>• Conforto</li><li>• Saúde</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Qualidade ecológica</li><li>• Qualidade económica</li><li>• Qualidade sociocultural e funcional</li><li>• Qualidade tecnológica</li><li>• Qualidade do processo</li><li>• Qualidade do local</li></ul>

O número de critérios varia bastante entre os vários sistemas, ou seja, o LEED tem 43 critérios enquanto o BREEAM apresenta 76.

Os Indicadores de todos estes sistemas englobam valores qualitativos e quantitativos, sendo que na ponderação existem diversas abordagens: O BREEAM funciona com percentagens sendo que o LEED atribui pontos.

Os resultados são divididos em todos os casos em 3 níveis, apenas com nomeações diferentes, à exceção do LEED e o BREEAM que ainda têm uma quarta classificação como seja a avaliação de excelência.

As vantagens de todas estas ferramentas decorrem do facto de englobarem uma visão holística, conjugarem dados qualitativos e quantitativos, assim como a possibilidade de fazerem uma avaliação de dados com unidades heterogéneas, respeitando o modelo dos três pilares da sustentabilidade.

Releva-se ainda que estas ferramentas estão em constante atualização, corrigindo as suas limitações e apelando à correspondência das necessidades mais atuais. O BREEAM é atualizado todos os anos, o LEED em períodos de dois ou 3 anos, ao passo que o LiderA ou o DGNB são atualizados de forma menos regular.

Tirando o GBTool, todos os sistemas são mais adaptados à sua realidade nacional, apesar de poderem ter uma ou outra versão internacional.

Estes sistemas estão enquadrados na realidade climática e nas tecnologias construtivas características do país onde são desenvolvidos sendo, por isso, complicada a sua transposição para um outro país.

Por esse motivo desenvolveu-se igualmente em Portugal um sistema de classificação da sustentabilidade dos edifícios. O sistema português, LiderA inspira-se sobretudo no sistema LEED, acrescentando alguns critérios e subcritérios de avaliação que o tornam mais completo e mais adaptado à realidade do setor da construção em Portugal. É dada uma maior importância à eficiência no consumo de recursos e ao impacto ambiental dos materiais, facto que torna esta ferramenta mais abrangente. De uma forma geral estes sistemas não permitem a avaliação de materiais, produtos ou partes de um edifício. Estão vocacionados para a classificação dos edifícios como um todo, sendo o principal objetivo a atribuição de uma pontuação em função da sua sustentabilidade (LUCAS, 2008).

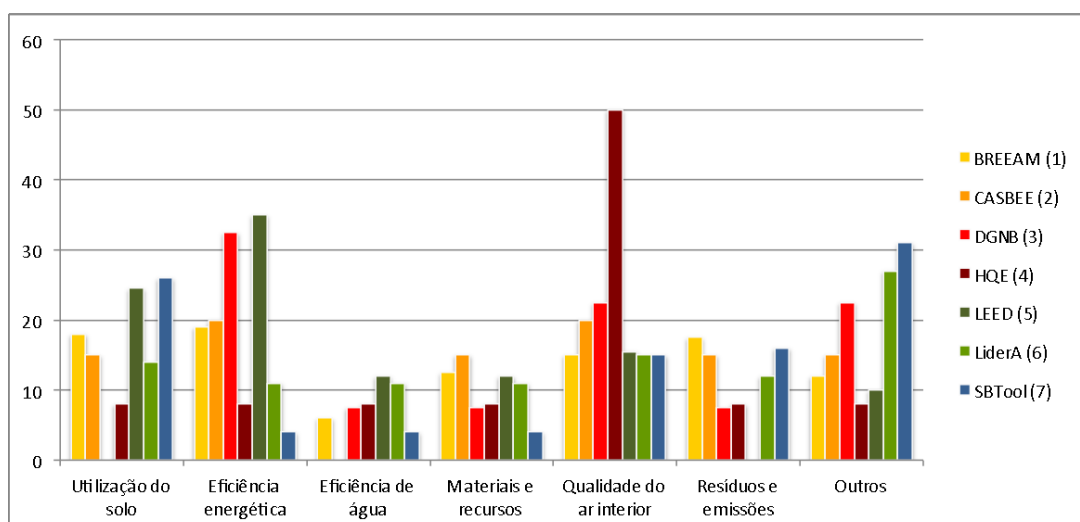


Figura 40: Percentagens de avaliação das várias ferramentas (Fonte própria)

Para a elaboração do gráfico anterior (Fig. nº40) foram efetuadas algumas transformações para que fosse possível a comparação das percentagens de avaliação entre as várias ferramentas. Estas foram as alterações realizadas:

(1) No caso do BREEAM foram somados, na comparação da Utilização do solo, o critério uso do solo e o transporte. Nos Resíduos e emissões foram somados os critérios ecologia e poluição.

(2) Para o CASBEE, o critério da água está incluído na comparação dos Materiais e recursos.

(3) Dado que os critérios do DGNB são divididos de maneira muito diferente estes foram separados da seguinte forma: O critério Utilização do solo não entra na avaliação global do edifício, e por ser calculado à parte foi-lhe atribuído o valor 0. O critério da qualidade tecnológica das instalações encontra-se na Eficiência energética juntamente com a qualidade económica. A qualidade ecológica foi dividida em parte iguais, sendo estas incluídas na Eficiência da água, dos Materiais e recursos e nos Resíduos e emissões. A qualidade sociocultural e funcional foi colocada na Qualidade do ar interior. Na comparação de Outros encontra-se a qualidade do processo de planeamento.

(4) Devido ao facto de os critérios do HQE serem divididos de forma muito diferente estes foram repartidos da seguinte maneira: A construção ecológica, como contém inserção no local, métodos de construção e escolha de produtos, foi dividida em três partes iguais assim como a gestão ecológica por se referir à Eficiência energética, Eficiência da água e Resíduos e emissões. O conforto e a saúde foram somados e apresentados na Qualidade do ar interior, uma vez que contém os parâmetros de acústica, térmica, iluminação e qualidade do ar e da água.

(5) O LEED tem, na comparação Outros, os aspetos locais e a inovação somados ao processo do projeto.

(6) No caso do LiderA foi apenas dividido o critério recursos porque ele inclui a energia, a água e os materiais. Em Outros foram incluídos a vivência socioeconómica e a gestão ambiental e inovação.

(7) No caso do SBTool os critérios estão distribuídos, relativamente à comparação, de uma forma muito diferente, sendo por isso agrupados os critérios localização e cultura na Utilização do solo. O critério energia e água foi dividido nos três campos que ele contém. Em Outros encontram-se somados os critérios de qualidade de serviço e qualidades sociais e económicas.

Nesta comparação fica evidente que, em todas as ferramentas, as percentagens ao nível da Eficiência da água, Materiais e recursos são análogas, porém, em Outros, encontram-se grandes variações. Esta desigualdade de avaliação espelha o facto de não haver uma definição de sustentabilidade claramente definida, sustentando cada ferramenta a sua própria ponderação.

Maioritariamente as ferramentas para análise de materiais, produtos ou sistemas estão apenas disponíveis em versões de demonstração, as quais não têm todas as funções disponíveis, e, por este facto, afiguram-se insuficientes para uma análise mais experimental e profunda. De um modo geral quase todos os sistemas de *software* exigem a entrada de condições e dados pelo usuário para calcular a avaliação, o que significa que o projetista tem que estar familiarizado com os processos e propriedades dos produtos, sendo que esta necessidade patenteia a sua frágil viabilidade. Como a representação gráfica destas ferramentas é de extrema importância, pode-se considerar um ponto fraco a circunstância de algumas destas ferramentas não estarem bem desenvolvidas no que a este

aspecto concerne. Acresce ainda a evidência de que estes programas estão sempre mais adaptados ao seu país de origem, e, por conseguinte, as bases de dados não contêm todos os materiais necessários, sendo que, uma vez mais, a maior lacuna reside no facto de não estarem incluídos os parâmetros económicos e sociais.

A MARS-SC salientou-se relativamente às ferramentas aplicáveis a soluções construtivas como a mais completa e a mais correta relativamente aos princípios da sustentabilidade. O seu ponto fraco advém do facto de ponderar os indicadores e assim influenciar a avaliação final, assumindo à priori quais os pontos mais importantes para a avaliação de sustentabilidade, o que, do ponto de vista desta investigação se demonstrou ser contraproducente relativamente aos objetivos iniciais. Para além da questão da ponderação o MARS-SC trabalha com soluções construtivas, ou seja, com elementos completos que incluem vários materiais/camadas e a respetiva forma de construção. Neste sentido não corresponde totalmente ao objetivo desta investigação, mas permite funcionar como base teórica para a sua prossecução e desenvolvimento.

A MARS-SC também evidenciou algumas lacunas relativamente ao levantamento dos dados e às respetivas fontes, acabando por trabalhar com poucos parâmetros e tornando desta forma os resultados frágeis.

A tabela nº3 faz o levantamento das principais características dos vários sistemas de avaliação de sustentabilidade, enumerando as suas vantagens e desvantagens.

Tabela nº3: Comparação entre os vários tipos de ferramentas. (Fonte própria)

	Ferramentas	Tipo de critérios	Fases do ciclo de vida	Ponderações	Vantagens	Desvantagens
<b>ACV</b>	DIN 14040	ecológicos	Todas as fases do ciclo de vida	não	Cientificamente mais correto e completo na vertente ecológica. Engloba todo o ciclo de vida.	Não inclui vertentes sociais e económicas. Não é executável por utilizador comum.
<b>Rótulos Ecológicos</b>	Blauer Engel; EcoLogo; Swan; Eco-Label; Korea Eco-Label; Thai Green Label Scheme; ECOMARK; etc.	ecológicos	Apenas fase de extração e produção	não	Fácil leitura do resultado final.	Não inclui vertentes sociais e económicas. Não é executável por utilizador comum. Não analisa o ciclo de vida completo. Resultado muito simplificado, não se obtém leitura dos parâmetros individuais.
<b>EPDs</b>	ISO 14025	ecológicos	Todas as fases do ciclo de vida	não	Cientificamente mais correto e completo na vertente ecológica. Engloba todo o ciclo de vida.	Não inclui vertentes sociais e económicas. Não é executável por utilizador comum.
<b>Certificações</b>	BREEAM; HQE; LEED; CASBEE; SB Tool; DGNB; LiderA	ecológicos, sociais e económicos	Todas as fases do ciclo de vida	sim	Crítérios completos. Fácil leitura do resultado final.	Não é executável por utilizador comum. Resultado muito simplificado, não se obtém leitura dos parâmetros individuais. Pondera parâmetros e critérios por raciocínios próprios.
<b>Ferramentas para materiais</b>	GaBi; SimaPro; AUDIT; Umberto; MARS-SC	ecológicos, exeto MARS-SC que também inclui sociais e económicos	Todas as fases do ciclo de vida	sim	Mostra sub-resultados.	Não é executável por utilizador comum. Tirando MARS-SC não inclui vertentes sociais e económicas. Pondera parâmetros e critérios por raciocínios próprios.



### 3.3. CONCLUSÃO

→ PERGUNTA INICIAL: Como se mede o grau de sustentabilidade de um material?

Para se medir o grau de sustentabilidade de um material é necessário ter bem definido o que é considerado sustentável (ver 2.5.).

As ferramentas de avaliação de sustentabilidade, após uma constante evolução, cristalizam-se presentemente em cinco tipos de abordagens, das quais apenas quatro efetivamente se aplicam aos materiais: A ACV, os Rótulos ecológicos, as EPD's e os *softwares* de análise de produtos. Existem ainda as ferramentas checklist/certificação que, todavia, atuam ao nível do edifício ou de bairros.

→ PERGUNTA INICIAL: As ferramentas de avaliação servem para medir o grau de sustentabilidade dos materiais, são rigorosas, transparentes e fáceis de utilizar?

A ACV é um método complexo e difícil execução, e, apesar de ser cientificamente abrangente, não inclui critérios para além do ecológico.

Os rótulos ecológicos e as EPD's são menos abrangentes, uma vez que não analisam o ciclo de vida inteiro do material e, tal como as ACV, não incluem o critério económico e o social, sendo no entanto bastante *user friendly*.

Como a sua comparação demonstra, apenas as ferramentas Checklist/Certificações e o MARS-SC é que se baseiam no modelo dos três pilares da sustentabilidade, incluindo os critérios de avaliação e parâmetros ecológicos, económicos e sociais (ver 3.2.6). Ambos os métodos produzem resultados de fácil leitura.

Considera-se um ponto fraco, comparativamente às outras abordagens de avaliação (ver 4.4.3), o facto de tanto as ferramentas Checklist/Certificações como o MARS-SC efetuarem ponderações entre os critérios e os parâmetros.

Esta investigação propõe-se trabalhar sobre o MARS-SC, cuja base teórica se demonstrou ser a mais adequada aos objetivos propostos, adaptando a escala de análise (passando de soluções construtivas para a escala de material) e melhorando as suas fraquezas. Definem-se como objetivos propostos a análise das três vertentes do modelo da sustentabilidade, a análise do ciclo de vida completo, e a visualização dos sob resultados, para tornar a escolha o mais informada possível (ver 4.1.1). Como fraqueza refere-se o facto de o MARS-SC ponderar os parâmetros e os critérios, assim como analisar soluções construtivas inteiras e não os materiais de construção em si.

Porém, dado as certificações do edificado não serem ferramentas que sustentem diretamente a escolha de materiais e o facto de os rótulos ecológicos ficarem muito aquém no que concerne a avaliação completa de sustentabilidade (ver 3.2.3), afigura-se pertinente a investigação de uma ferramenta que possa auxiliar os arquitetos na escolha dos materiais ainda durante a fase de projeto.



## CAPÍTULO IV | CONSTRUÇÃO DO MODELO TEÓRICO DA FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE GRAU DE SUSTENTABILIDADE DE MATERIAIS

*“Make everything as simple as possible, but not simpler”*

Albert Einstein

<b>4.1. Ferramenta de Avaliação de Grau de Sustentabilidade do Material</b>	153
4.1.1. Objetivos a cumprir pela ferramenta	153
4.1.2. Fluxograma da ferramenta	155
4.1.3. Tipo de Informação a colher	157
<b>4.2. Critérios</b>	157
4.2.1. Critérios ecológicos	157
4.2.2. Critérios económicos	166
4.2.3. Critérios conforto humano/funcional/social	169
<b>4.3. Recolha de dados</b>	175
<b>4.4. Transformação dos dados</b>	177
4.4.1. Normalização	177
4.4.2. Agregação	177
4.4.3. Ponderação	178
<b>4.5. Resultados</b>	178
<b>4.6. Exposição gráfica</b>	179
<b>4.7. Conclusão</b>	181

## **4.1. FERRAMENTA DE ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE DE MATERIAIS**

### **4.1.1. OBJETIVOS A CUMPRIR PELA FERRAMENTA**

Os impactos ambientais dos materiais na produção do ambiente construído são evidentes. A construção de edificações consome até 75% dos recursos extraídos da natureza, tendo como agravante o facto de a maior parte destes recursos não serem renováveis. A produção, transporte e uso de materiais contribuem indubitavelmente para a poluição global e as emissões de gases com efeito de estufa, sendo a emissão de poluentes do ambiente interno de edificações igualmente relevantes (JOHN, 2007).

A seleção de materiais é um dos importantes e complexos desafios que qualquer equipa encarregada do projeto de uma construção sustentável tem que enfrentar.

Por causa do impacto que os materiais têm no ambiente (na fase de produção, utilização e fim de vida), as decisões com eles relacionadas são de particular importância pelas consequências que daí resultam (LUCAS, 2008).

A avaliação de um material como mais sustentável que outro exige um processo de decisão que envolve incertezas e variáveis subjetivas e, por vezes, apriorísticas. Apesar de os aspetos ambientais do ciclo de vida dos materiais estarem expostos de forma cada vez mais transparente para a sociedade, há o risco de se criarem mitos, potenciais distorções e julgamentos apriorísticos baseados em factos incompletos, decorrentes de lacunas do conhecimento em relação a tais matérias (LEEuw, 2005).

Uma das dificuldades com que se depara quem tem que selecionar materiais ecológicos para a construção é a de, muitas vezes, apesar dos materiais serem funcionalmente equivalentes, apresentarem perfis ambientais muito distintos. Uma situação ilustrativa corresponde a uma comparação entre um material com origem num recurso renovável, mas sem conteúdo reciclado, com outro que, apesar de proveniente de um recurso não renovável, incorpora na sua produção materiais provenientes de processos de reciclagem (LUCAS, 2008).

Tem-se revelado difícil estabelecer critérios universais aplicáveis a todos os materiais de construção em todas as aplicações, mas, apesar desta dificuldade, é possível estabelecer um conjunto de critérios gerais que podem servir de guias para orientar a avaliação e seleção dos materiais no contexto de um determinado projeto. É tão importante a forma como os materiais são utilizados como a

identificação e seleção dos mesmos. É possível aplicar materiais ecológicos de forma incorreta, não alcançando nenhum benefício ambiental com a sua utilização. Em contrapartida, alguns materiais convencionais, que avaliados à luz destes critérios não podem ser considerados ecológicos, podem ser aplicados de maneira a permitirem a um edifício alcançar com a sua utilização alguns benefícios ambientais (LUCAS, 2008).

Como objetivos gerais podem-se considerar os seguintes princípios:

- Não afetar a saúde dos utilizadores;
- Baixar as emissões de poluentes para o ambiente;
- Aumentar a eficiência energética do edifício;
- Fácil processamento, ou seja, uma baixa energia incorporada;
- Durabilidade elevada;
- Pouca manutenção;
- Não necessitar de materiais acessórios e quantidades elevadas;
- Ser um material reutilizado, reciclado ou reciclável;
- Produção local.

Mesmo depois de estabelecidos e definidos estes critérios, a seleção de materiais continua a ser um processo complexo. Não é possível a nenhum material cumprir com todos os requisitos indicados e, sendo assim, o que se faz é escolher pesando e avaliando para cada caso as alternativas disponíveis, selecionando o que globalmente apresenta o melhor desempenho ambiental à luz destes critérios. Para ajudar neste processo têm surgido por todo o mundo ferramentas de avaliação, que pretendem, através de um processo mais ou menos simples, auxiliar investigadores e técnicos ligados ao senhor da construção a fazer uma escolha mais adequada e informada (KIBERT, 2005).

Os objetivos da ferramenta para materiais são os seguintes:

1. Fazer uma análise comparativa entre 2 ou mais materiais (não executando um rótulo);
2. Englobar todas as fases do ciclo de vida (extração, produção, transporte, obra, manutenção, demolição e eventual rebuço ou reciclagem);
3. Abranger parâmetros ecológicos, conforto humano (social) e económicos;

4. Ter flexibilidade suficiente para ser capaz de analisar materiais diferentes;
5. Comunicação clara e simples dos resultados (parâmetros individuais, indicadores e valor final).

Num estudo comparativo, é importante que todos os sistemas estejam enquadrados dentro dos mesmos limites e que sejam apresentados com o mesmo nível de detalhe (LUCAS, 2008).

Como base teórica para a ferramenta é selecionado o MARS-SC porquanto, na análise comparativa das ferramentas existentes (3.2), demonstrou ser o mais apto a corresponder às premissas procuradas. Como o fluxograma seguinte demonstra, a estrutura baseia-se no MARS-SC, começando pelo levantamento dos dados, o seu tratamento em indicadores para possibilitar a avaliação comparativa relativa entre dois ou mais materiais. O facto de se estar a analisar materiais e não sistemas construtivos completos é uma diferença substantiva relativamente à ferramenta inicial e será testado ao longo desta investigação. Semelhante ao MARS-SC serão analisados critérios ecológicos, económicos e de conforto humano (sociais). Os parâmetros serão escolhidos conforme o objeto de estudo.

#### **4.1.2. FLUXOGRAMA DA FERRAMENTA**

A estrutura conceptual da ferramenta compara sempre dois ou mais materiais como o seguinte fluxograma ilustra (Fig. nº41). Após da seleção dos materiais, são colhidos os dados para o preenchimento dos parâmetros ecológicos, económicos e de conforto humano. Cada grupo de parâmetros é normalizado e agregado (ver 4.4) formando um indicador para cada categoria. Estes indicadores são já resultados parciais, os quais podem ser comparados entre si ou através da sua soma e serem convertidos para o resultado final (ver 4.4), o valor de grau de sustentabilidade relativo.

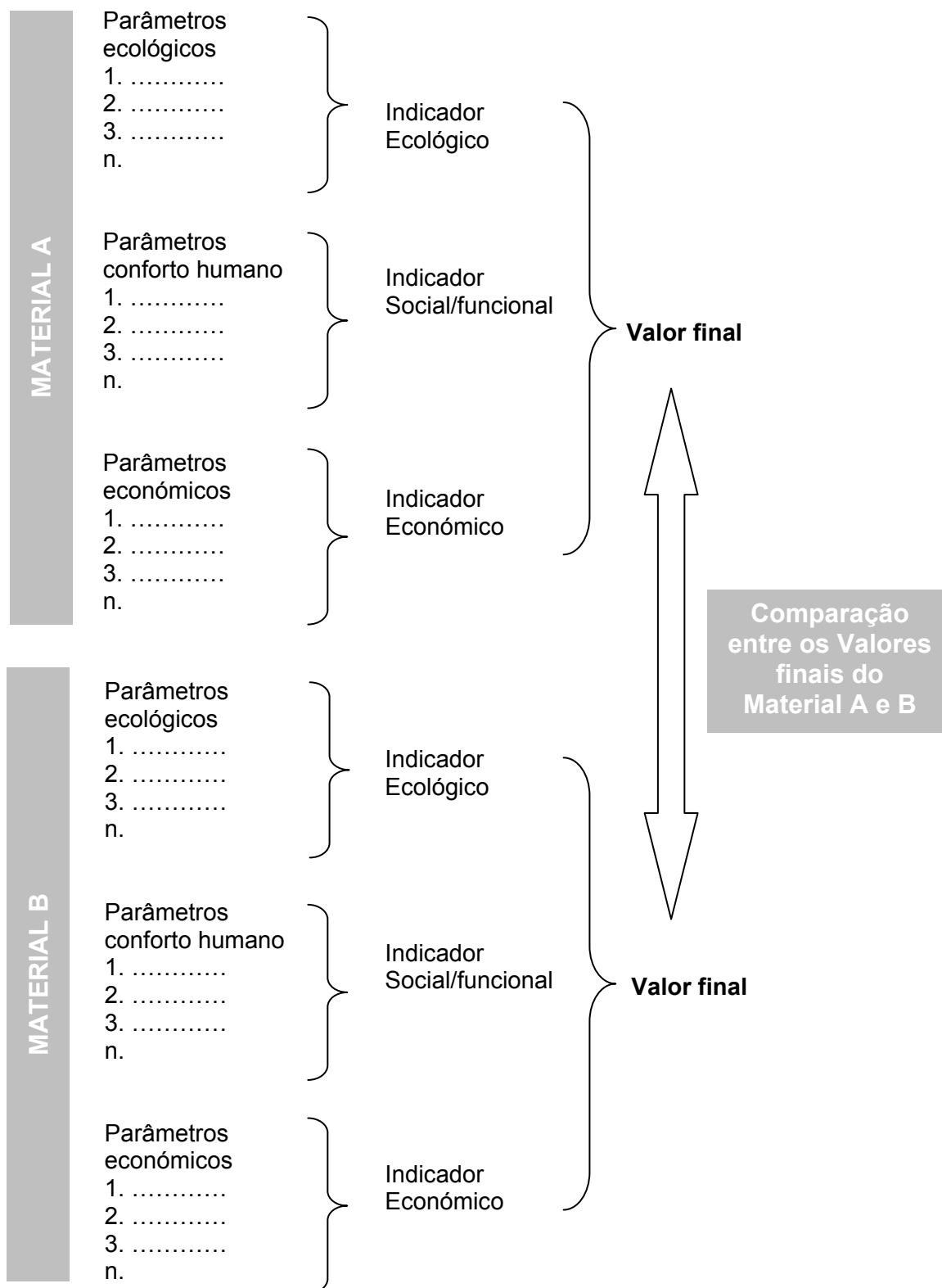


Figura 41: Fluxograma da ferramenta (Fonte própria)



#### 4.1.3. TIPO DE INFORMAÇÃO A COLHER

A recolha dos dados é a tarefa mais importante em todo o processo da avaliação. A fonte, da qual se retiram os valores, deve ser de carácter científico e independente, para não influenciar e/ou distorcer os resultados da análise. A fonte deve ser atualizada regularmente e admitir um *external review* para garantir a sua qualidade.

O grau de fiabilidade da ferramenta pode ser comprometido com a utilização de dados de fontes duvidosas ou pouco científicas.

Tal como numa ACV são utilizados dados qualitativos e quantitativos. Os qualitativos descrevem uma determinada característica, atributo ou qualidade, enquanto os quantitativos descrevem numericamente um valor dentro de uma determinada escala.

#### 4.2. CRITÉRIOS

Os critérios devem cumprir o terceiro objetivo para garantir uma análise holística e variada dos materiais. Concomitantemente têm que respeitar o quarto objetivo, a flexibilidade, o que significa que a inclusão dos seguintes critérios não seja obrigatória mas apenas possibilidades a ter em consideração. Em função do material em análise optar-se-ão pelos critérios que mais se adequam, ou seja, não faz sentido analisar, num revestimento para um pavimento de um espaço público, a sua condutibilidade térmica.

##### 4.2.1. CRITÉRIOS ECOLÓGICOS

Ecologia - A Ecologia é a ciência que estuda as interações entre os organismos e seu ambiente, tendo a palavra Ecologia origem no grego *oikos*, que significa casa, e *logos*, que significa estudo. Portanto, por extensão, seria o estudo da casa ou, de forma mais genérica, do lugar onde se vive. O conceito de ecologia estende-se até à chamada ecologia profunda que é um conceito filosófico, desenvolvido por Arne Nesse em 1973, que vê a humanidade como mais um fio na teia da vida. Cada elemento da natureza, inclusive a humanidade, deve ser preservado e

respeitado para garantir o equilíbrio do sistema da biosfera. O equilíbrio ecológico consiste na manutenção das funções e componentes do ecossistema, de modo sustentável, podendo igualmente designar-se como a capacidade que o ambiente natural tem de manter as condições de vida para as pessoas e para outras espécies, tendo em conta a habitabilidade, a harmonia do ambiente e a sua função como fonte de energias renováveis.

Os parâmetros que são elaborados para a análise da vertente ecológica tentam analisar a interação que o uso de um determinado material tem relativamente ao seu ambiente. Estes são os parâmetros escolhidos: Potencial de efeito de estufa, potencial de destruição de camada de ozono, potencial de entronização, potencial de acidificação, energia incorporada, gasto de recursos abióticos, utilização de água potável, emissão de resíduos sólidos e lixo especial, transporte e distância ao projeto, conteúdo reciclado e possibilidade de reciclagem/flexibilidade.

Os critérios ecológicos serão analisados com os seguintes parâmetros:

- **O Potencial de Aquecimento Global (GWP - *Global Warming Potencial*)** é o índice que determina a capacidade que um determinado Gás de Efeito de Estufa (GEE) tem de refletir a radiação solar refletida na superfície da Terra e, conseqüentemente, de aquecer o nosso planeta (Fig. nº42).

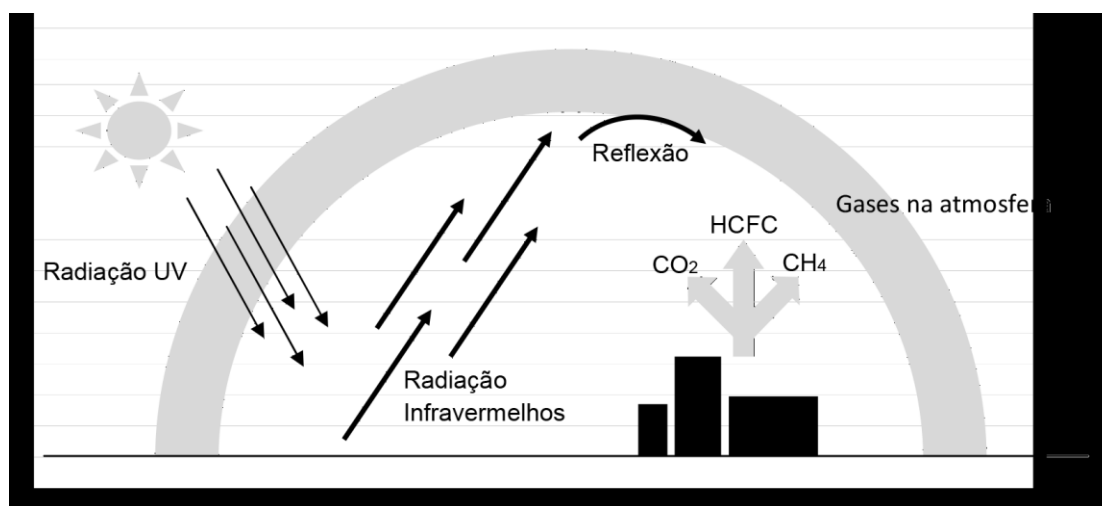


Figura 42: Esquemática do fluxo de GEE (Fonte própria)

Como a figura 41 ilustra, os raios UV emitidos pelo sol entram na atmosfera terrestre e são novamente emitidos pela superfície terrestre em forma de radiação de infravermelhos (raios IV). Esta radiação não consegue sair da atmosfera porque é absorvida por determinados gases presentes na atmosfera, os GEE. Fica igualmente demonstrado que estes GEE são emitidos pelas cidades e as atividades industriais.

Os principais gases de estufa são o vapor de água 70% (H<sub>2</sub>O), o dióxido de carbono 9% (CO<sub>2</sub>), o metano 9% (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), e os CFC's (CF<sub>x</sub>Cl<sub>x</sub>), os quais absorvem alguma radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra e refletem por sua vez alguma da radiação de volta para a superfície terrestre.

Cada um dos gases com efeito de estufa possui seu índice de aquecimento global predeterminado e, tem como medida de referência o dióxido de carbono (Tabela nº4). Por exemplo: o potencial de aquecimento global do metano é 21, o que significa que 1 tonelada de metano absorve 21 vezes mais radiação do que 1 tonelada de CO<sub>2</sub>. O potencial de aquecimento global tem em conta não só a eficácia na absorção de radiação IV de um determinado GEE como o seu tempo de vida na atmosfera. Assim, para efeitos de comparação, é necessário indicar qual o intervalo de tempo em questão, caso contrário a comparação não faria sentido, sendo que, neste caso, é utilizado o intervalo temporal de 100 anos. Quanto menor for o valor, menor será o Potencial de Efeito de Estufa e o Aquecimento global associados. A unidade de medida é de kgCO<sub>2</sub>-Equiv..

Tabela nº4: Vários tipos de GEE e o seu GWP. (IPCC, 2007)

<b>Gás</b>	<b>Fórmula</b>	<b>GWP (100 anos)</b>
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	25
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	298
Perfluorcarbonetos	CnF <sub>2n+2</sub>	7400 a 12200
Hidrofluorcarbonetos	CnHmF (2n+2-m)	120 a 14800
Hexafluoreto de enxofre	SF <sub>6</sub>	22800

- **Eutrofização:** Eutrofização é a transição do solo ou da água de um estado pobre (oligotrófico) em nutrientes para um estado rico (eutrófico). Esta alteração dá-se principalmente pela entrada de nutrientes como fósforo e compostos de azoto. Estas substâncias sobrecarregam o ambiente sendo subprodutos da fabricação de alguns produtos de construção e também da lixiviação de emissões de combustão (Fig. nº43). Esta alteração de nutrientes provoca o aumento da formação de algas nas águas, as quais, em excesso, podem causar a morte dos peixes desse ecossistema. A avaliação do potencial de sobrenutrição é efetuada verificando a relação entre a área e o Equivalente em PO<sub>4</sub> anual. Quanto menor for o valor, mais baixo é o potencial de influência negativa sobre o homem e o ambiente. A unidade de avaliação é kgPO<sub>4</sub>-Equiv.. Estes dados estão disponíveis no banco de dados ökobau.dat.

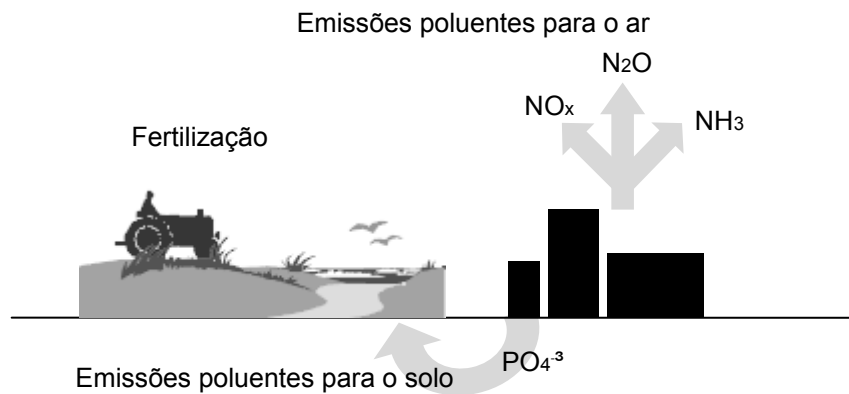


Figura 43: Esquematização de emissões poluentes (Fonte própria)

- Potencial de Acidificação:** Entende-se como acidificação o aumento de iões de  $H^+$  no Ar, na água e no solo. Compostos de enxofre e nitrogénio de emissões antrópicas reagem com o ar, transformando-se em ácido sulfúrico ou nítrico e caindo como chuva ácida no solo, águas, seres vivos e edifícios (Fig. nº44). O potencial de acidificação é expresso em  $SO_2$ -Equiv., e as emissões envolvem  $SO_2$ ,  $NO_x$  e  $H_2S$ . Para a avaliação do potencial de acidificação é mensurada a relação entre a área e o  $SO_2$ -Equivalente anual. A unidade de avaliação é  $kgSO_2$ -Equiv.. Estes dados estão disponíveis no banco de dados ökobau.dat.

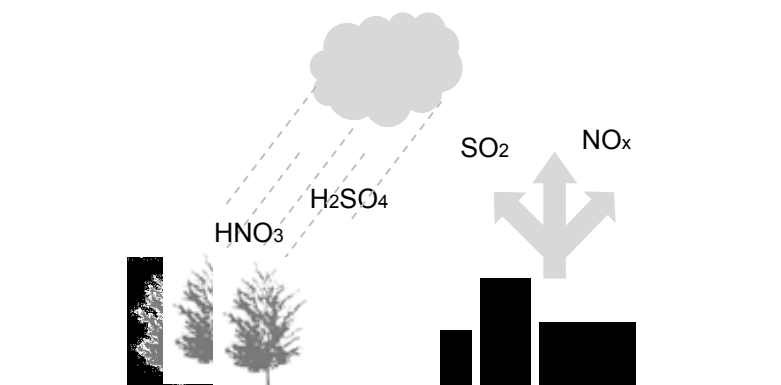


Figura 44: Esquemática de chuvas ácidas (Fonte própria)

- Potencial de Destruição da Camada de Ozono:** O ozono, não obstante só existir em baixas concentrações na nossa atmosfera, é, no entanto, muito importante para a vida na terra, pelo facto de ser capaz de absorver a radiação de onda curta e emití-la para direções diversas com um comprimento de onda maior. A camada de ozono é uma barreira para maior parte da radiação UV, evitando desta forma o sobreaquecimento do planeta e protegendo a humanidade, a flora e a fauna de radiação UV-A e UV-B (Fig. nº45). Para a avaliação do potencial de destruição da camada de ozono é verificada a relação entre a área e o Triclorofluorometano-Equivalente anual emitido pelas edificações. A unidade de avaliação é  $kgRn$ -Equiv.. Estes dados estão disponíveis no banco de dados ökobau.dat.

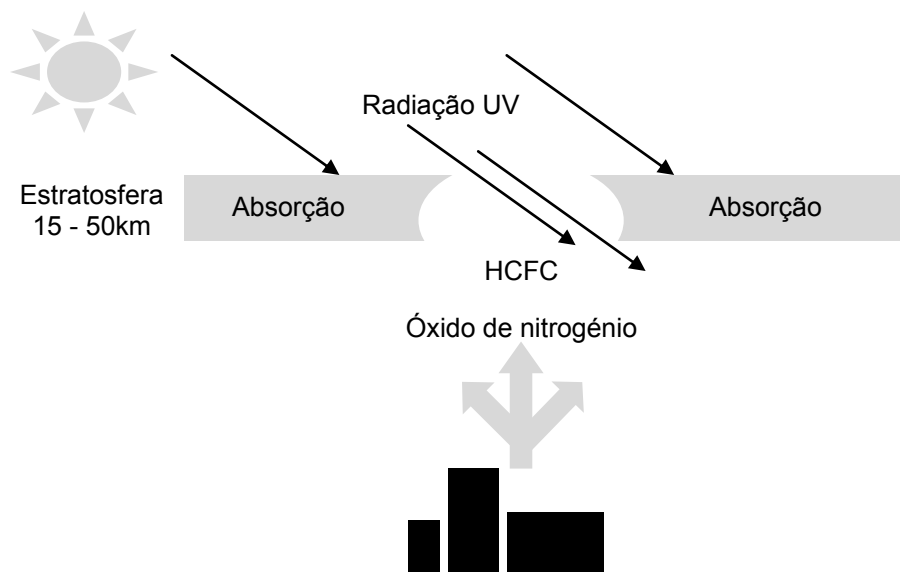


Figura 45: Esquemática da destruição da camada de ozônio (Fonte própria)

- **Energia Incorporada:** A energia incorporada abrange a energia consumida durante a sua vida útil. Neste critério só será englobada a energia necessária para a extração e transformação da matéria-prima necessária para produzir o produto (cradle to gate). Existem energias renováveis e não-renováveis, sendo que ambas têm MJ como unidade de referência. Estes dados estão disponíveis no banco de dados ökobau.dat.
- **Utilização de Recursos Abióticos:** O consumo de recursos abióticos abrange todos os recursos naturais (incluindo energias fósseis), tais como o petróleo e os recursos minerais. Incluem-se nos recursos abióticos todas as matérias-primas inertes, nomeadamente os materiais não renováveis (pelo menos não na escala humana). Esta categoria descreve a utilização/redução do estoque existente destes recursos. O tempo que é considerado não-renovável é de 500 anos. Esta categoria avalia portanto a existência de elementos naturais e de fontes de energia fósseis. A unidade de avaliação é kgSb-Equiv.. Estes dados estão disponíveis no banco de dados ökobau.dat.

Para além dos dados da Base de dados foi elaborada a seguinte tabela (Tab. nº5) a partir dos *Mineral Commodity Summeries*, sobre os recursos existentes:

Tabela nº5: Recursos existentes. (Fonte primária: USGS, 2012)

Pequena	> 50.000 ton	>100.000 ton	>500.000 ton	>1.000.000 ton	>50.000.000 ton	Grande	Muito grande
· Diamante industrializado	· Ouro Natural	· Barita	· Cádmio	· Abrasivos fabricados	· Césio	· Amianto	· Barro
· Molibdénio	· Chumbo	· Bismuto	· Crómio	· Antimónio	· Iodo	· Bromo	· Mica
· Telúrio	· Mercúrio	· Boro	· Cobre	· Bauxita e alumina	· Níquel	· Diatomáceas	· Cal
· Vanádio	· Selénio	· Fluorita	· Manganês	· Perlite	· Fosfato de rocha	· Feldspato	· Pedra partida
	· Háfnio	· Tântalo	· Prata	· Cobalto	· Metais do grupo da platina	· Granada	
		· Zinco	· Mineral de titânio concentrado	· Iodo	· Terras raras	· Gesso	
			· Ítrio	· Compostos de Magnésio		· Óxido de ferro pigmentos	
				· Nióbio (colômbio)		· Magnésio metálico	
				· Turfa		· Pedra pomes e Pumicite	
				· Potássio		· Cristal de quartzo - Industrial	
				· Rénio		· Sal	
				· Carbonato de sódio		· Areia e cascalho - construção	
				· Sulfato de sódio		· Areia e cascalho - industrial	
				· Estrôncio		· Silício	
				· Tório		· Pedra grande dimensão	
				· Estanho		· Talco e pirofilita	
				· Titânio e dióxido de titânio		· Vermiculite	
				· Tungsténio		· Zeólitas natural	

- **Água Incorporada:** Apesar de haver muita água existe pouca água potável de qualidade. A água purificada advém de origem subterrânea e superficial, antes de se tornar potável. Só após uma filtração extensa, em que é retirado o ferro, o magnésio, os pesticidas, os nitratos e outros poluentes provenientes da agricultura, é que a água pode ser utilizada para o consumo. Quanto menor a água incorporada no ciclo de vida de um material menor o efeito negativo de consumo. A unidade de avaliação é kg. Estes dados estão disponíveis no banco de dados ökobau.dat.

- **Resíduos Sólidos:** Os resíduos sólidos são divididos em três categorias: resíduos/subprodutos, resíduos domésticos e resíduos perigosos. A categoria dos resíduos/subprodutos inclui subprodutos da fabricação de matérias-primas, como cinzas volantes, resíduos de rocha, escória, lama vermelha e outros. Os resíduos domésticos incluem também os resíduos comerciais. São designados resíduos perigosos substâncias tais como a borra de tinta, o lodo galvânico, poeiras de filtros ou outras substâncias líquidas ou sólidas com conteúdo radioativo. Quanto menor o valor dos resíduos menor também o seu impacto negativo sobre o ambiente. A unidade de avaliação é kg. Estes dados estão disponíveis no banco de dados ökobau.dat.
- **Conteúdo Reciclável:** Nesta categoria considera-se a quantidade de material já reciclado que é introduzido na produção de um novo produto. Quanto maior a percentagem, melhor o impacto positivo sobre a extensão do ciclo de vida do material. A unidade de avaliação é percentagem (%), e estes dados são fornecidos pelos fabricantes. Caso não sejam, esta categoria é retirada na avaliação.
- **Potencial de Reciclagem/Flexibilidade:** Categoria exata é dividida em: não reciclável, dificilmente reciclável, reciclável e reutilizável (Tabela nº6). Isso significa que um material pode não ser de todo possível de reciclar, ser possível a sua reutilização por transformação física e química complexa, ou que, por processos simples, a matéria é reutilizada, ou, no melhor dos casos, ser reutilizado sem necessitar de intervenções. Para esta categoria existe um semáforo de grupos de materiais.



Tabela nº6: Categorias do potencial de reciclagem dos materiais. (Fonte própria)

Não reciclável  (após a aplicação não volta a ter proveito possível)	Incineração com produção de Energia	Reciclável – transformação em matéria-prima (a reciclagem é possível através de processos mecânicos ou químicos, ou seja, é preciso mais energia incorporada para prolongar o ciclo de vida do material)	Reutilizável (O material pode ser recolocado diretamente noutra obra, caso esteja intacto e em condições boas, só com limpeza e pequenas reparações)
4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Tintas</li> <li>· Vernizes</li> <li>· Revestimentos colados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Madeira</li> <li>· Plásticos</li> <li>· Papel</li> <li>· Têxteis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Elementos estruturais (Betão/betão-armado, metal e madeira)</li> <li>· Alvenaria (pedra, tijolo, brita, gesso cartonado)</li> <li>· Areias e Argila expandida</li> <li>· Vidro e vidro especial</li> <li>· Plásticos (mástique, selantes)</li> <li>· Papel</li> <li>· Pavimento (asfalto e betão)</li> <li>· Impermeabilizações</li> <li>· Coberturas (betuminosa, metálicas, telhas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Elementos estruturais em Madeira ou Aço</li> <li>· Isolamentos térmicos (lã de rocha, cortiça, esferovite e EPS/XPS)</li> <li>· Telhas</li> <li>· Revestimentos grampeados (pedra, cerâmicos, vidro e madeira)</li> </ul>

- **Tipo de transporte/distância à obra:** Os diversos tipos de transporte implicam diferentes quantidades de energia. Multiplicando o transporte pela distância ao projeto obtém-se este parâmetro sendo sua unidade o MJ/ton. O valor da energia despendida obtém-se na tabela (Tabela nº7) seguinte.

Tabela nº7: Energia despendida conforme o tipo de transporte. (Fonte: BERGE, 2009)

Transporte	MJ/tonKm
Avião	33-36
Rodovia (gasóleo)	0.8-2.2
Ferrovia (gasóleo)	0.6-0.9
Ferrovia (eletricidade)	0.2-0.4
Barco	0.3-0.9

Quando não existem dados específicos sobre o local de produção, poderão ser utilizados os seguintes dados como guia:

- produção local - 50 km;
- produção nacional - 300 km;
- produção europeia e norte da África-2000 km;
- produção intercontinental (EUA, Austrália, Ásia) - 7.000 km.

#### 4.2.2. CRITÉRIOS ECONÓMICOS

Economia - A Economia, ou ciência económica, consiste na produção, distribuição e consumo de bens e serviços. O termo economia vem do grego *οικονομία* de *οίκος*, translit. *oikos*, casa + *νόμος*, translit. *nomos*, costume ou lei, ou também gerir, administrar: daí regras da casa ou administração doméstica. Os parâmetros económicos referem-se aos custos que determinado material propõe para a sua implementação. Como a visão de sustentabilidade pretende visualizar todo o ciclo de vida de um material na componente económica, são integrados os seguintes parâmetros: Custo de construção (inclui fabricação, transporte e construção), custo de manutenção e custo de demolição e devolução á natureza ou reintegração num outro produto. Não é incluído o custo do uso, porque este só se aplica ao edifício, e não é implícito na escolha do material. Os custos de manutenção aparecem para manter a condição funcional do edifício ou para voltar a criá-la. Estes custos não são calculados especificamente para materiais, pois dependem de muitos outros fatores, tais como o modo de aplicação, o local de aplicação (paredes, teto ou chão, interior, exterior), qual o uso que lhe é dado (caminhos de passagens, zonas de trabalho ou despensas/depósitos), etc.. Uma vez que esta informação não é inserida no sistema de avaliação, estes custos não estão incluídos.

A utilização de mais parâmetros ecológicos do que de conforto humano e económicos advém da complexidade elevada do sistema ambiental planetário, sendo que o equilíbrio ecológico não se consegue manter com 3 ou 4 componentes, por estarem envolvidos múltiplos agentes. Para a avaliação geral

não é dada nenhuma prevalência à componente ecológica, simplesmente é dividida em mais parâmetros.

Os critérios económicos serão analisados com os seguintes parâmetros:

- **Custo de Construção:** Estes custos englobam o custo de produção de um material, o seu transporte até á obra e a sua montagem em obra. A unidade é de €/m<sup>2</sup> e é nacionalmente publicado.
- **Custos de desmantelamento e deposição:** Aqui são somados os custos do desmantelamento e os custos para devolver os materiais ao ambiente. A escolha da forma de eliminação dos resíduos depende do quadro jurídico de cada empresa, daí que estes custos possam variar bastante, dependendo das instalações e tecnologia existente. As diferenças nas situações regionais da gestão de resíduos (utilização das instalações existentes, o aumento dos aterros existentes, a reciclagem para construção de estradas, etc.) influenciam fortemente os preços. Nestes custos estão frequentemente incluídos os custos de transporte, sem especificar a distância de transporte. Os dados da seguinte tabela são para serem considerados indicativos. A unidade é o € / ton.

Para a determinação da tabela nº8 foi calculada uma média, a partir dos preços de seis empresas de gestão de resíduos diferentes: Gerstbau, GWA, DAMM, EGB, AVB e Buhck.

Tabela nº8: Valor médio para s várias categorias de resíduos. (Fontes: 1:[http://www.gerstbau.de/fileadmin/dateien/Preisliste\\_2012\\_Materialanlieferung.Pdf](http://www.gerstbau.de/fileadmin/dateien/Preisliste_2012_Materialanlieferung.Pdf); 2:[http://www.gwa-online.de/v2/cms/upload/pdf/pl/pl\\_id\\_khw.pdf](http://www.gwa-online.de/v2/cms/upload/pdf/pl/pl_id_khw.pdf); 3:[http://www.buhck.de/damm/aktuelles/downloads/DAMM-Preisliste\\_Container\\_Febr.2012\\_Web.pdf](http://www.buhck.de/damm/aktuelles/downloads/DAMM-Preisliste_Container_Febr.2012_Web.pdf); 4:<http://www.egb-bir.de/downloads/preisblatt.Pdf>; 5:<http://www.avb-recycling.de/downloads-und-links.php>; 6:[http://www.buhck.de/bar/aktuelles/zertifikate-broschueren/BAR\\_Containerdienst\\_28.07.10.Preisliste-INTERNET.pdf](http://www.buhck.de/bar/aktuelles/zertifikate-broschueren/BAR_Containerdienst_28.07.10.Preisliste-INTERNET.pdf); 7: <http://www.fischersoehne.de/preise/ne-metalle.php>)

<b>Código do resíduo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valor médio €/ton</b>
1701	Betão, tijolos, telhas, cerâmica e materiais de gesso	
170101	Betão sem reforço, menor que 60 centímetros, sem finos	8,40
170101	Betão sem reforço, menor que 60 centímetros, com finos	11,25
170101	Betão armado, menor que 60 centímetros	18,63
170101	Betão armado, maior que 60 centímetros	22,50
170102	Entulho de tijolos sem impurezas	11,13
170103	Telhas, Cerâmica	36,25
170107	Entulho sem impurezas	13,71
170107	Entulho com impurezas	33,30
1702	Madeira, vidro e plástico	
170201	Madeira sem tratamento	28,75
170202	Vidro	65,00
170203	Plásticos mistos, EPS, linóleo, vidro plástico, resina epóxida	150,00
170204	Resíduos de madeira de áreas exteriores	61,00
170204	Madeiras embebidas, Travessas de linhas férreas, Cercas	90,00
1703	Produtos de alcatrão, asfalto	
170301	Entulho viário, com alcatrão	57,50
170302	Entulho viário, sem alcatrão inferior a 60 cm	7,45
170303	Revestimentos betuminosos	173,33
1704	Metal (incl. ligações)	
170401	Cobre, latão, bronze	350,00
170402	Alumínio	80,00
170403	Chumbo	90,00
170404	Zinco	65,00
1705	Terras	
170504	Terra sem pedras	14,50
170504	Terra com pedras	18,65
1706	Material de isolamento	
170603	Material de isolamento, embalado sem gerir pó	43,33
170603	Material de isolamento de materiais perigosos	284,00
170604	Material de isolamento, Lã de vidro, lã de rocha, espuma de poliuretano, colas	272,50
170605	Materiais de construção que contenham amianto	111,67

1707	Resíduos mistos	
1708	Materiais à base de gesso	
170802	Materiais à base de gesso	60,17
1709	Outros resíduos mistos	
170904	Resíduos mistos	150,67
170904	Resíduos mistos, principalmente madeira natural	41,33
170904	Resíduos mistos, principalmente madeira tratada	50,00
2002	Resíduos de jardins e parques (incl. resíduos de cemitérios)	
200201	Resíduos de jardins e parques com impurezas	50,00
200201	Resíduos de jardins e parques	10,45

#### 4.2.3. CRITÉRIOS CONFORTO HUMANO / FUNCIONAL /SOCIAL

Conforto humano – Consciente ou inconscientemente, os nossos sentidos são o meio como nos apercebemos do espaço e como medimos o grau de satisfação que este nos proporciona. Os nossos sentidos são solicitados pelas características do espaço que ocupamos e com o qual, dependendo do estímulo, somos levados a interagir. A ausência de conforto produz sofrimento e é por isso um grande motivador de atuação – tanto no sentido de nos induzir a interagir de forma mais coerente com a natureza e com o clima (ao abrir uma janela ou fechar uma porta), como no sentido de nos induzir a consumir energia (ao ligarmos o aquecimento). O conforto ambiental humano é, simultaneamente, um estado físico e psicológico. A dimensão física do conforto tem sido investigada de forma científica há largas décadas sendo medida da seguinte forma: Conforto térmico, conforto visual, conforto acústico e conforto olfático e palatal (TIRONE, 2007).

Para esta ferramenta serão incluídos os seguintes parâmetros: O conforto térmico, o conforto acústico, a durabilidade e a segurança. O conforto visual, olfático e palatal não é incluído uma vez que depende do projeto como um todo e não apenas do material em si. O conforto visual, por exemplo, depende da volumetria envolvente, da relação entre cheios e vazios, que na análise pura ao material não se aplica. O conforto olfático depende da qualidade do ar interior, o qual por sua vez depende de condições de ventilação natural ou artificial que não são

intrínsecas à escala do material. No entanto são incluídos outros fatores, que não foram enumerados pela autora Tirone, como sejam a durabilidade e a segurança, que influenciam a componente psicológica dos utentes, garantindo também o conforto humano.

Os critérios de conforto humano serão analisados com os seguintes parâmetros:

- **Acústica:** No processo de absorção sonora a energia é convertida em ondas não audíveis de forma a impedir a reverberação (importante para conforto acústico em espaços interiores - para que os ruídos produzidos internamente sejam controlados). O isolamento acústico é diferente da absorção sonora uma vez que obstrui a propagação de um som ou ruído entre espaços, potenciando a reflexão sonora (importante para conforto acústico em espaços interiores - para que os ruídos produzidos exteriormente sejam controlados). Para esta categoria existe um semáforo de grupos de materiais (Tabela nº9).

Grupos de materiais no critério Acústica – Absorção sonora / Isolamento Acústico

Tabela nº9: Materiais ordenados pela sua qualidade acústica. (Fontes própria)

Boa absorção sonora / Mau isolamento acústico	Média absorção sonora / Médio isolamento acústico	Má absorção sonora / Bom isolamento acústico
1/3	2	3/1
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Placas de fibras minerais</li> <li>· Espuma porosa, cortiça</li> <li>· Têxteis pesados</li> <li>· Tapetes grossos</li> <li>· Placas perfuradas (vários materiais)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Madeira</li> <li>· Plásticos</li> <li>· Gesso cartonado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Betão</li> <li>· Alvenarias</li> <li>· Metal</li> <li>· Vidro</li> <li>· Cerâmicos</li> </ul>

- **Isolamento térmico:** Neste critério é observada a condutividade térmica de um material, dado que o cálculo do valor de “U” necessita de outros dados, os quais na fase de escolha do material ainda não existem. A condutividade térmica quantifica a capacidade de conduzir calor, partindo do princípio que não há movimento no ar (convecção). Quanto menor for o valor, melhor o isolamento térmico. A unidade é  $\lambda$  e os valores estão disponíveis no ITE 50 do LNEC.

- **Durabilidade:** A durabilidade de um material corresponde á sua vida útil. Considera-se vida útil o período em que as exigências colocadas ao material são respondidas, o que por vezes requer manutenção ou até restauro. Quanto maior for durabilidade menores os impactes ambientais e a unidade é medida em anos. Os dados estão disponíveis no BBSR. Nesta tabela (Tabela nº10) também se encontra a frequência com que um determinado material precisa de manutenção, devendo este dado ser cruzado com o critério económico do custo de manutenção.

Tabela nº10: Materiais ordenados pela sua durabilidade. (adaptado da fonte BBSR, 2011)

	< 10 anos	20 anos	30 anos	40 anos	50 anos	> 50 anos
Embasamento				Impermeabilizações		Fundações em betão
Paredes exteriores			Madeira			Betão, alvenaria, pedra, tijolo, madeira dura, madeira macia
Revestimento exterior	Ligantes de calcário, óleo e tintas	Pintura de emulsão plástica, tinta a óleo mineral e resina	Madeira macia, plástico, gesso mineral	Revestimento em fibrocimento, telhas, aço, vidro, Etics, folha de zinco	Cobre, estanho, alumínio, mineral / reboco exterior orgânico	Betão, tijolo, pedra, madeira
Isolamento térmico			Cortiça, lã e celulose	EPS, PU	Leca e espuma de vidro	
Elementos de janela			Madeira macia, plástico, PVC, Alumínio	Madeira rija e aço		
Pinturas de janelas	Pintura em madeira e vernizes					
Estores			Plástico e aço	Madeira e alumínio		
Capeamentos e Soleiras			Plástico	Fibrocimento, chapa galvanizada	Alumínio	Pedra natural, pedra artificial, cobre
Paredes interiores				Vigas metálicas e chapa de aço	Madeira macia	Betão, tijolo, pedra, madeira rija
Revestimentos interiores	Tintas papel de parede e têxteis	Estuque, e plásticos		Madeira e cerâmico	Placas de gesso cartonado	Reboco
Portas interiores e janelas				Aço, madeira prensada	Vidro	Portas de madeira
Tetos						Betão, madeira macia, madeira dura, aço, pedra

Revestimentos de tetos		Plásticos, fibra mineral		Madeira, metal, pladur, reboco	
Revestimento de laje	Selantes, revestimentos, impermeabilizações, óleo, cera	Plásticos, fibra mineral	Linóleo, PVC	Tacos e parquetes, azulejos, cerâmica, pedra natural	Pedra natural, pedra artificial, betão, pedra, madeira, cerâmica, madeira macia
Escadas		Madeira macia	Madeira rija		Betão, aço, alumínio
Varandas				Madeira	Betão e aço
Coberturas inclinadas					Madeira, aço, vigas laminadas, BSH, Treliças
Revestimentos de telhados				Chapas de zinco, folha de perfil de aço, alumínio, fibrocimento,	Telhas Folha de cobre, telha de ardósia

- Segurança:** Para a segurança dos utentes importa observar o comportamento ao fogo de um material. Os materiais são ordenados por categorias definidas na DIN 4102-1 (Tabela nº11). Comportamento ao fogo  
 A – Materiais não inflamáveis, A1 – sem componentes orgânicas (areia, cascalho, cimento, pedra-pomes, cal, argamassa, betão e betão armado, etc.) A2 – com componentes orgânicas (placas de gesso cartonado)  
 Categoria B – materiais inflamáveis, B1 – dificilmente inflamável, B2 – inflamável (madeira, contraplacados, plásticos, etc.), B3 – facilmente inflamável (tudo que não está em B1 e B2).



Tabela nº11: Materiais ordenados pela sua resistência ao fogo. (adaptado da Fonte: DIN, 1998)

A1	A2	B1	B2	B3
<i>Não-inflamáveis, poucos ou nenhuns componentes orgânicos (combustíveis).</i>	<i>Não é combustível, muitas vezes contém componentes orgânicos (combustíveis)</i>	<i>Combustível, não inflamáveis</i>	<i>Combustível, inflamáveis</i>	<i>Muito combustível, altamente inflamáveis</i>
1	2	3	4	5
Quase todos os materiais minerais (areia, cascalho, argila, betão, tijolos, gesso)  Não têm que ser rotulados. Exceções são placas de fibra mineral ou de vidro. Eles podem também pertencer à classe A2, e, portanto, deve ser identificado em cada caso pela marca	Alguns de produtos de fibra mineral e de vidro, gesso e gesso cartonado ou betão leve com agregados orgânicos (madeira, plástico). Materiais classe A2 materiais devem ser sempre rotulados pela marca.	Determinados painéis minerais ou de fibra de vidro e feltros, gesso cartonado, lã de madeira, cortiça, plásticos, etc., Tem que ter a mesma identificação como os materiais A2.	Certas placas de gesso, placas de multicamada, painéis leves de madeira e produtos de madeira com mais de 2 mm de espessura e uma densidade de mais de 400 kg/m <sup>3</sup> , cortiça, pavimentos, telhados, membranas de impermeabilização de asfalto, matérias plásticas. Devem ser sempre rotulados. Exceções são painéis de madeira e derivados com espessura e densidade suficientes.	Madeira e derivados de madeira com menos de 2 mm de espessura e uma densidade inferior a 400 kg/m <sup>3</sup> .

- **Toxicidade:** A toxicidade refere-se a substâncias tóxicas que existem no meio ambiente e são prejudiciais à saúde humana, animal e fauna ou outros organismos, tais como ecossistemas. A toxicidade divide-se em substâncias orgânicas, anorgânicas e biológicas. As substâncias anorgânicas podem ser gasosas (CO<sub>2</sub>, CO e NO<sub>x</sub>), em forma de partículas ou pó (amianto e KMF), metais pesados (arsénio, chumbo, cádmio, crómio, cobre, mercúrio, níquel, zinco), e substâncias radioativas (rádon). As substâncias orgânicas são compostos orgânicos voláteis (COV e VVOC; formaldeído) e semicompostos orgânicos voláteis (SVOCs, PCP, PCBs,

PAHs). As substâncias biológicas incluem fungos (*Aspergillus fumigatus*, *Stachybotrys*) e bactérias (BBSR, 2011).

De uma forma geral ou é proibida a inclusão deste tipo de substâncias ou existe alguma limitação da quantidade, devendo de qualquer forma ser evitados. Pode-se resumir que materiais de construção sintéticos carregam o ar interior com VOC especialmente os derivados do petróleo. Tintas sintéticas, tintas e colas podem ter as emissões seguintes: epóxidos, cetonas, fenóis, formaldeído e xileno. Decapantes, pesticidas e produtos de limpeza podem conter metais pesados como chumbo, cádmio, mercúrio e amianto, ou ácidos como o arsénico. A tabela nº12 enumera os casos mais comuns, elaborados a partir de várias fontes bibliográficas.

Tabela nº12: Substâncias tóxicas nos materiais. (Fontes: BÜNGER, 2006 e HEMPFLING, 1994)

Compostos orgânicos voláteis (VOC)	Formaldeído	Amianto	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs)	Bifenilos policlorados (PCB), proibidos desde 2001
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Vernizes</li> <li>· Materiais de madeira</li> <li>· Certas tintas de parede</li> <li>· Solventes orgânicos</li> <li>· Cola</li> <li>· Espumas</li> <li>· Massas de enchimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Materiais de madeira</li> <li>· Aglomerados de madeira</li> <li>· Aminoplástico</li> <li>· Tintas</li> <li>· Colas</li> <li>· Papel de parede</li> <li>· Lã mineral</li> <li>· MDF</li> <li>· Vernizes para parquet e tacos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Argamassas</li> <li>· Gesso</li> <li>· Placas</li> <li>· Espumas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Revestimentos de asfalto e chão</li> <li>· Cola de betume</li> <li>· Cola de asfalto</li> <li>· Conservantes de madeira</li> <li>· Selagens, diluentes, emulsões, e revestimentos de betume,</li> <li>· Vernizes para paquete e tacos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Vernizes</li> <li>· Impermeabilizações</li> <li>· Plásticos</li> <li>· Retardadores de chama em argamassas</li> <li>· Cabos</li> <li>· Colas</li> </ul>
Ftalatos, plastificantes	Pentaclorofenol (PCP) - lindano proibido desde 1989	Radão	Metais pesados	Fibras minerais sintéticas
<ul style="list-style-type: none"> <li>· PVC</li> <li>· Tintas</li> <li>· Vernizes</li> <li>· Plásticos</li> <li>· Couro artificial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Conservantes de madeira</li> <li>· Couro</li> <li>· Têxteis pesados, tais como lonas</li> <li>· Tapetes</li> <li>· Linóleo</li> <li>· Impermeabilizações</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Arenito</li> <li>· Calcário</li> <li>· Gesso natural e cartonado</li> <li>· Plásticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Proteções para madeira</li> <li>· Vernizes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Lã de vidro</li> <li>· Lã de rocha</li> <li>· Lã de escória</li> </ul>

### 4.3. RECOLHA DE DADOS

Atento o facto de o MARS-SC não ter fontes de dados próprias, optou-se por procurar as fontes de maior qualidade que preenchessem os parâmetros necessários para a análise dos materiais.

A recolha de dados é de extrema importância para a validação da ferramenta e todas as fontes selecionadas devem ser de carácter independente, de forma a garantir a sua imparcialidade.

Os dados para os parâmetros ecológicos são obtidos predominantemente na base de dados Ökobau.dat. Esta base de dados alemã é pública e gratuita, e serve de base para ACV e outro tipo de análises que pretendam avaliar o desempenho ambiental de edificações e materiais. Consiste em cerca de 950 folhas de dados, desde matérias de construção a processos de construção e transporte. A base de dados organiza-se nas seguintes categorias: técnicas de construção minerais, isolamentos, produtos de madeira, metais, revestimentos e vedantes, produtos plásticos, componentes de janelas, portas e fachadas cortinas entre outros. Cada registo tem também, para além dos valores ecológicos, informações acerca de: fonte dos dados, unidade de trabalho, validade, qualidade, etc.. Os dados são em formato XML, e podem ser obtidos a partir de uma ligação à internet, após o utilizador instalar uma pasta específica. A Ökobau.dat foi desenvolvida no âmbito de um projeto de investigação chamada *ZukunftsBau* pela *PE International GmbH*, com apoio da indústria de construção alemã. A última revisão da base de dados foi feita em 2011. Em anexo encontra-se a explicação para a instalação da base de dados (ver ANEXO IV).

Para obtenção dos dados do parâmetro ecológico de Transporte e Distância ao projeto é utilizada uma tabela do autor Berge (2009), a qual indica os valores de ton/km dos vários transportes e combustíveis possíveis.

O parâmetro ecológico de Possibilidade de Reciclagem/Flexibilidade é retirado de uma tabela – semáforo, desenvolvida pelo autor, que separa classes de materiais nos seguintes grupos: não – reciclável, incinerável (aproveitamento para obtenção de energia), reciclável e reutilizável.

O parâmetro ecológico do Conteúdo reciclado só se aplica caso os fabricantes publiquem este parâmetro, o qual, se não for identificável, não é incluído na avaliação.

Para os parâmetros económicos do custo de construção existe em Portugal as *Informações sobre custos. Fichas de rendimentos* publicado pelo LNEC (2006). Para Alemanha existe uma obra semelhante *BKI Baukosten Bauelemente 2012* (ARCHITEKTENKAMMER, 2012). Os custos de desmantelamento/depósito são obtidos a partir da tabela formulada para a investigação.

Os dados para os critérios de conforto humano são adquiridos em diversas fontes:

Para o parâmetro de conforto humano relativo à Acústica os dados são retirados de uma tabela – semáforo desenvolvida pelo autor que separa classes de materiais nos seguintes grupos dentro das subcategorias Absorção sonora e Isolamento Acústico: Boa absorção sonora /Mau isolamento acústico, Má absorção sonora /Bom isolamento acústico.

O parâmetro Térmico de conforto humano é obtido no *ITE 50* (LNEC, 2006) publicado pelo LNEC, que apresenta a condutibilidade térmica dos materiais (capacidade de conduzir calor), e onde os materiais estão agrupados por tipos.

A Durabilidade, outro parâmetro de conforto humano, é obtida numa tabela publicada pela BBSR (*Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung / Instituto Federal de Construção, Urbanismo e Desenvolvimento Territorial Alemão*), e que, para além de indicar a vida útil média de um material, faz referência ao número de vezes que o material tem de receber manutenção para que a durabilidade indicada se aplique.

A Segurança é o último parâmetro de conforto humano, estando os seus dados definidos pela DIN 4102-1 (DIN, 1998), na qual os materiais são separados pelo seu comportamento relativamente ao fogo, desde não inflamável até facilmente inflamável.

Os dados para a toxicidade estão listados numa tabela formulada para a investigação.

#### 4.4. TRANSFORMAÇÃO DOS DADOS

##### 4.4.1. NORMALIZAÇÃO

A normalização dos parâmetros é feita para se poder trabalhar valores com unidades e valores absolutos muito distintos. Este processo pode ser calculado segundo Balteiro (2003) da seguinte forma:

- Quando o Indicador for do tipo “quanto mais melhor” deve-se prosseguir da seguinte forma:

$$\bar{R}_{ij} = 1 - \frac{R_j^* - R_{ij}}{R_j^* - R^*j} = \frac{R_{ij} - R^*j}{R_j^* - R^*j} \forall ij \quad (1)$$

- Quando o Indicador for do tipo “quanto menos melhor” deve-se prosseguir desta forma:

$$\bar{R}_{ij} = 1 - \frac{R_{ij} - R_j^*}{R^*j - R_j^*} = \frac{R^*j - R_{ij}}{R^*j - R_j^*} \forall ij \quad (2)$$

$\bar{R}_{ij}$  = valor normalizado;  $R_j^*$  = valor ideal;  $R^*j$  = valor pior (antivalor);  $R_{ij}$  = valor real.

Usando esta normalização os indicadores ficam sem unidade e os valores são convertidos para uma escala entre 0 e 1. É assim gerado um índice de grau de sustentabilidade relativo aos casos em análise, podendo ser 1 o valor de maior impacte e 0 o de menor impacte (BALTEIRO, 2003).

##### 4.4.2. AGREGAÇÃO

Para uma melhor leitura e compreensão é feita uma agregação dos valores dos vários parâmetros para cada critério (ecológico, conforto humano e económico). Esta agregação poderia ser ponderada para responder a necessidades específicas de um projeto, mas isso não será implementado, sendo atribuída a mesma importância a cada parâmetro no quadro global. Assim o poder de decisão permanece com o utilizador. O arquiteto mantém desta forma a capacidade de decidir se no seu projeto algum aspeto tem maior importância que outro, e, por conseguinte, não são predefinidos quais os parâmetros que têm um peso maior.

É determinado um valor relativo, que é válido apenas para a comparação entre dois ou mais materiais (BRAGANÇA, 2006).

A seguinte fórmula determina o valor relativo, válido para a comparação dos materiais:

$$IS = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{R}_j^p \quad \forall i \quad (3)$$

IS é a média não ponderada de todos os parâmetros que foram previamente normalizados.

Este cálculo é realizado individualmente para todos os três critérios (ecológico, económico e conforto humano).

#### 4.4.3. PONDERAÇÃO

A ponderação é um ponto bastante subjetivo, não havendo uma metodologia ainda definida como estanque. Existem por exemplo ponderações estipuladas pela EPA - *United States Environmental Protection Agency*, ou pela Universidade de Harvard, para parâmetros ecológicos (TORGAL, 2011).

Mas no caso de Portugal, não havendo nenhuma ponderação reconhecida a nível nacional, opta-se por dar o mesmo peso aos parâmetros de cada critério. Fica à responsabilidade e liberdade do utilizador decidir quais os parâmetros e critérios que, no caso específico do seu projeto, são considerados mais importantes.

#### 4.5. RESULTADOS

Depois os critérios serem avaliados individualmente será feita uma última soma. É este cálculo final que vai dar o grau de sustentabilidade relativo entre os materiais a analisar. Novamente, não há ponderação entre os vários critérios.

$$IS = \bar{R}_1 + \dots + \bar{R}_n \quad (4)$$

Com a obtenção do valor final, é então possível a comparação entre os materiais (A e B) em análise, concluindo uma das três situações possíveis:

A > B; A = B; A < B.

Caso um dos materiais em análise poder ser considerado de referência, obtém-se ainda, para além do resultado comparativo, a noção do benefício relativo à prática comum nacional.

#### 4.6. EXPOSIÇÃO GRÁFICA

A comunicação dos resultados é de extrema importância para colmatar o último objetivo: compreensão clara e simples dos resultados, de forma a garantir a sua aplicabilidade no ato prático de projeto. Pelo facto de os números não terem interpretação intuitiva, propõe-se a representação gráfica dos dados em forma de radar.

A comunicação gráfica dos resultados, irá corresponder a este tipo de gráfico (Figs. nºs 46 e 47) que expõe a relação entre os dois materiais a analisar nas suas várias vertentes. O material considerado de referência (C) é representado com uma mancha cinza e os materiais em comparação são representados com a linha continua grossa preta (V1 e V2).

Quando mais a linha se aproxima do centro significa que os seus impactes calculados são menores.

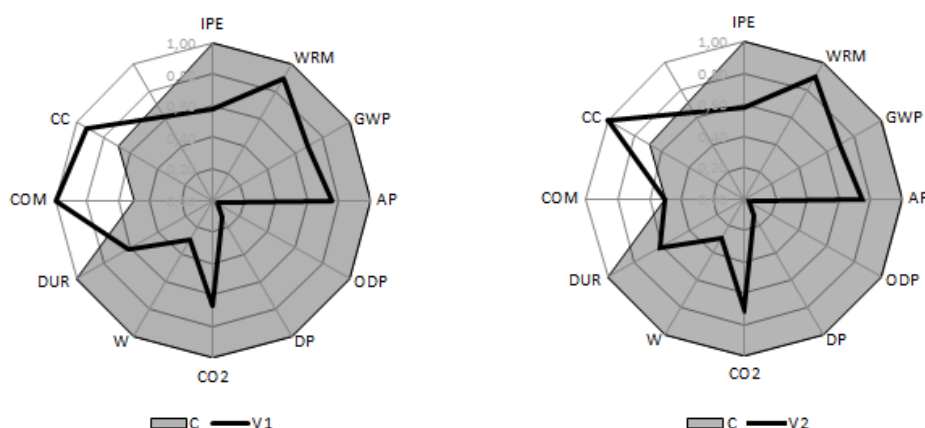


Figura 46: Representação gráfica dos resultados dos parâmetros individualmente. (Fonte própria)

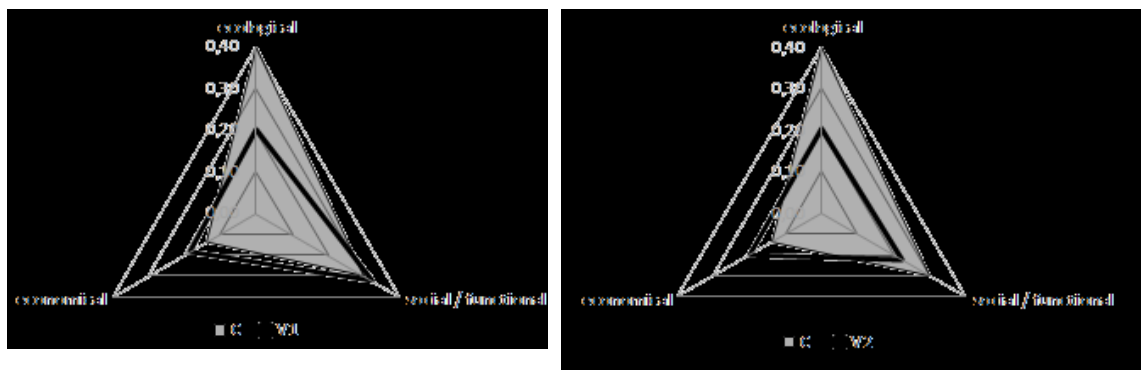


Figura 47: Representação gráfica dos resultados dos três indicadores. (Fonte própria)

Para uma comparação entre os vários materiais, e não apenas entre dois como faz o radar, sugere-se outro tipo de gráfico, o CIRCOS (Fig. nº48). Este *software* transforma os dados de tabelas num *layout* circular, que representa graficamente não apenas os valores absolutos dos dados, mas também as suas relações entre si. Pese embora ser graficamente apelativo, trata-se de um gráfico com alguma complexidade, e por isso não é tão intuitivo como o radar. Porém o facto de ter grandes potencialidades de leitura de relações dos dados torna-o especialmente interessante para a ferramenta em estudo (ver ANEXO V).

Num único gráfico são representados todos os parâmetros de avaliação, tais como os resultados agregados por indicadores (económico, conforto humano e económico), até à classificação geral. Tornam-se portanto dispensáveis as tabelas de apoio e a criação de gráficos individuais para cada análise.

Originalmente este método de representação gráfica foi criado pelo engenheiro Martin Krzywinski et al. (*Canada's Michael Smith Genome Sciences Centre*) em 2009, para a visualização de dados do genoma, sendo no entanto perfeitamente flexível e adaptável a qualquer área de investigação desde que os dados a analisar sejam em forma tabular.

Como um dos objetivos primordiais desta ferramenta é ser *user friendly*, com uma leitura clara e simples, propõe-se a introdução do CIRCOS como uma perspetiva possível de desenvolvimento futuro desta investigação (ver 6.3).



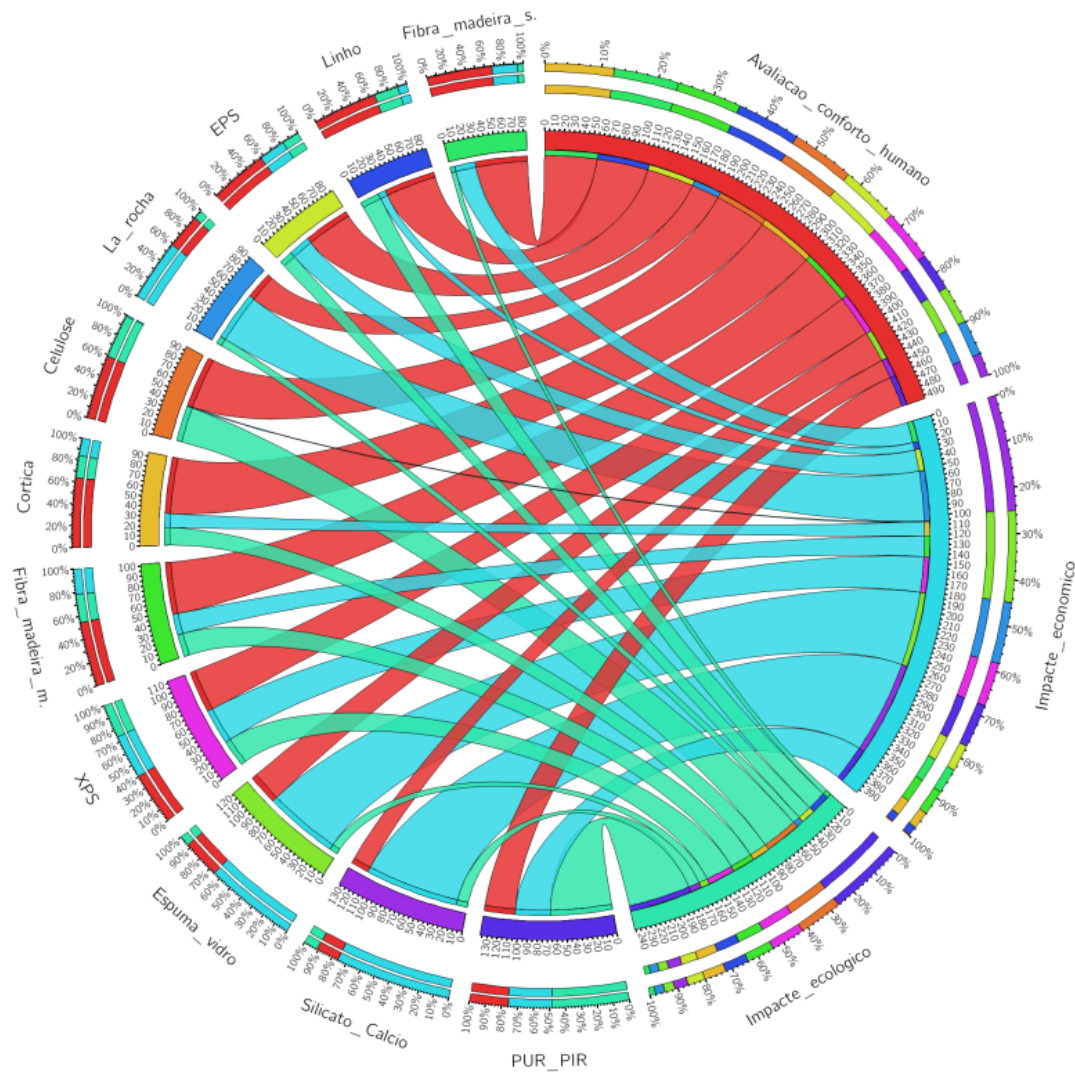


Figura 48: Representação gráfica dos dados através do *software* CIRCOS  
(Fonte: <http://www.circos.ca/>)

#### 4.7. CONCLUSÃO

Conforme concluído anteriormente (ver 3.3), a ferramenta baseia-se na estrutura do MARS-SC, adaptando e corrigindo apenas os aspetos considerados mais adequados para a avaliação do grau de sustentabilidade dos materiais. Exclui-se a ponderação dos parâmetros e dos critérios, permanecendo a escolha de cada parâmetro de avaliação e o incremento dos parâmetros utilizados do lado do utilizador no sentido de tornar a avaliação mais ajustada. A indicação das fontes dos dados é um aditamento fundamental, porquanto o utilizador não necessita de descobrir onde obter os dados que preenchem os parâmetros, podendo garantidamente utilizar fontes fiáveis e de carácter independente. Ao nível da

representação gráfica dos resultados acrescenta-se a visualização dos três indicadores através do gráfico radar, garantindo desta forma a fácil interpretação e leitura da avaliação dos parâmetros, dos indicadores e da avaliação final, e, cumprindo um dos objetivos inicialmente colocados (ver 4.1.1). Os outros quatro objetivos também se encontram incluídos, dado que é possível fazer a comparação entre dois ou mais materiais, e, que são analisadas todas as fases do ciclo de vida que se aplicam aos materiais (ver 4.2.2), sendo a análise baseada nos três pilares da sustentabilidade (ambiental, económico e conforto humano/social). A flexibilidade da ferramenta também se encontra garantida porquanto a mesma pode ser utilizada usando ou não todos os parâmetros.

Considera-se a adoção do *software* CIRCOS, para a exploração mais profunda dos resultados dos dados (ver 6.3), como possível aperfeiçoamento futuro desta ferramenta.



## **CAPÍTULO V | COMPROVAÇÃO EXPERIMENTAL**

<b>5.1. Seleção de materiais de construção para a comprovação experimental do instrumento de avaliação</b>	<b>185</b>
<b>5.2. Isolamento térmico</b>	<b>185</b>
5.2.1. XPS – Poliestireno Extrudido (material de referência)	189
5.2.2. EPS – Poliestireno Expandido	191
5.2.3. Espuma rígida de poliuretano (PUR/PIR)	193
5.2.4. Fibras de Linho	195
5.2.5. Cortiça	197
5.2.6. Painéis de Fibra de madeira (molhado e seco)	199
5.2.7. Celulose em flocos e placas	201
5.2.8. Lã de rocha mineral e de vidro	203
5.2.9. Espuma de vidro	205
5.2.10. Placas de Silicato de cálcio	207
<b>5.3. Resultados</b>	<b>208</b>
5.3.1. XPS   EPS	213
5.3.2. XPS   PUR/PIR	215
5.3.3. XPS   Linho	217
5.3.4. XPS   Cortiça	219
5.3.5. XPS   Fibras de madeira (molhado)	221
5.3.6. XPS   Fibras de madeira (seco)	223
5.3.7. XPS   Celulose	225
5.3.8. XPS   Lã de rocha	227
5.3.9. XPS   Espuma de vidro	229
5.3.10. XPS   Silicato de cálcio	231
<b>5.4. Resultados representados com o CIRCOS</b>	<b>233</b>
<b>5.5. Discussão dos Resultados</b>	<b>235</b>

### **5.1. SELEÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO PARA A COMPROVAÇÃO EXPERIMENTAL DO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO**

O isolamento térmico do envelope, e em particular das áreas opacas da fachada, tem um peso significativo no consumo de energia do edificado, bem como no conforto térmico, hidrotérmico e na durabilidade da estrutura e da alvenaria (VEIGA, 2007).

Por esta razão, serão analisados vários isolamentos térmicos pela ferramenta de avaliação fazendo a comparação entre eles.

Antes da análise em si todos os materiais serão apresentados e caracterizados de uma forma geral, listadas as vantagens e desvantagens conhecidas.

Após a caracterização genérica, será então aplicada a ferramenta para a obtenção de resultados mais concretos, ou seja, a determinação do grau de sustentabilidade.

### **5.2. ISOLAMENTO TÉRMICO**

Um isolamento térmico reduz a transferência de calor através do invólucro exterior do edifício. O isolamento baseia-se no princípio de encerramento de ar ou de outros gases, no interior das cavidades do material. Uma vez que os gases são fracos condutores de calor, a condutividade térmica do isolamento é reduzida, aumentando assim a sua característica de isolamento térmico. O isolamento tem um papel essencial para a construção consciente e sustentável. Existe uma série de materiais de isolamento térmico diferentes para diversas aplicações. Estima-se que só na Alemanha se apliquem anualmente cerca de 22 milhões de metros cúbicos de isolamento. Os materiais de isolamento não são todos iguais entre si e a sua adequação às diversas aplicações depende da forma como se comercializam (feltros, esteiras, placas, granulado ou por insuflação), do modo de transporte, do comportamento relativamente ao fogo, da condutividade térmica e de outras propriedades. Acresce ainda o facto de diferirem na sua fabricação e nos subprodutos utilizados, principalmente em relação aos aspetos ambientais e de saúde (WEIß, 2001).

A necessidade do isolamento térmico dos edifícios tem vindo a aumentar significativamente ao longo do tempo no sentido de melhorar o conforto térmico e a eficiência energética dos edifícios. Para atingir os novos requisitos os materiais usados no isolamento têm que melhorar as suas propriedades. Esta necessidade é notória, dado que os requisitos estão cada vez mais restritos, não só em termos de propriedades térmicas como também em relação à qualidade do ambiente interior do edifício e ao impacte ambiental. A qualidade de um material de isolamento depende da sua adaptabilidade ao tipo de construção e às tradições nacionais, regionais ou até locais. Neste sentido, materiais muito usados em certas regiões, podem não ter qualquer aplicação noutras, apesar de cientificamente qualquer material poder ser substituído por outro (LABRINCHA, 2006).

Não obstante a importância destes materiais e os ganhos associados à economia monetária e energética, também eles devem ser comparados entre si, para averiguar o seu impacte ambiental desde da produção, utilização e depósito (LUCAS, 2008).

Após a colocação de um isolamento térmico na construção, este é normalmente difícil ou impossível de alcançar; é por isso que os isolamentos térmicos devem ser de elevada qualidade e devem garantir a sua longevidade para acompanharem o ciclo de vida do edifício com um desempenho constante. É nesse sentido que a elevada durabilidade e baixos impactes ambientais são os principais requisitos colocados aos isolamentos, mantendo a perspetiva de garantir uma construção sustentável. O objetivo principal é, não só, obter a redução dos custos de climatização e a associada poupança energética, mas também conseguir uma redução dos custos de reabilitação ambiental geral através de uma gestão energética eficiente. Os CFC's e o CO<sub>2</sub> são os principais causadores do aquecimento global. Os CFC's, enquanto poluentes produzidos industrialmente, podem agora ser facilmente substituídos, ao passo que, o CO<sub>2</sub> por outro lado é criado como requisito para a vida na Terra. Porém a excessiva emissão de CO<sub>2</sub> pelo uso de combustíveis fósseis significa uma sobrecarga para o ambiente e para os ecossistemas. Através de medidas adequadas na construção pode-se reduzir significativamente o consumo de energia e as emissões de CO<sub>2</sub> associadas. A energia perdida na climatização é principalmente causada por isolamento insuficiente nos edifícios, sendo responsável por 25% das emissões de CO<sub>2</sub> (WEIß, 2001).

Ainda segundo Labrincha (2006). os diversos materiais utilizados no isolamento térmico de edifícios classificam-se, quanto à sua origem e forma de obtenção, nos seguintes grupos:

#### Materiais orgânicos

##### Materiais naturais

- Cortiça natural;
- Cortiça expandida (aglomerado negro de cortiça);
- Partículas de madeira;
- Fibras de madeira;
- Fibras de celulose (papel, cartão);
- Fibras vegetais diversas.

##### Materiais sintéticos

- Poliestireno expandido;
- Espumas rígidas de poliuretano e de poli-isocianurato;
- Espumas de areia-formaldeído;
- Polietileno expandido;
- Espumas elastoméricas;
- Espuma rígida de cloreto de polivinilo;
- Espuma rígida fenólica;
- Fibras sintéticas.
- Materiais Inorgânicos

#### Materiais naturais não transformados

- Escórias vulcânicas;
- Pedra-pomes;

- Tufos vulcânicos;

#### Materiais naturais transformados

- Fibras minerais (de vidro, de rocha e de escórias);
- Argila expandida;
- Betão celular autoclavado;
- Vermiculite expandida;
- Perlite expandida;
- Vidro celular;
- Xisto expandido;
- Ardósia expandida.
- Produtos mistos
- Grânulos de perlite expandida associados a fibras celulósicas e minerais aglutinados com betume;
- Fibras e partículas de madeira aglutinadas com cimento;
- Grânulos de cortiça envolvidos em argamassa de cimento;
- Grânulos de argila expandida envolvidos em betume;
- Betões e argamassas de inertes leves.

Na escolha dos materiais para isolamento térmico devem ser seleccionados materiais que sejam amigos do ambiente, que no seu fabrico ou na sua constituição química não contenham ou libertem poluentes e tóxicos, que não contribuam para o efeito estufa e para a destruição da camada de ozono ou quaisquer outros impactos negativos à saúde ao longo do seu ciclo de vida. Na observação do seu desempenho económico é pertinente considerar que estes materiais poupam mais energia do que aquela que necessitam para a sua fabricação, manutenção e deposição, sendo que o facto de emitirem algum



poluente deve ser analisado, ponderando se o que se poupa é superior àquilo que se gasta (com base no ciclo de vida) (WEIß, 2001).

Para a comprovação experimental foram selecionados 10 materiais de isolamento térmicos diferentes para serem comparados e analisados entre si, sendo sete de origem orgânica e três inorgânicos.

Como material de referência considera-se o XPS (poliestireno extrudido), um material orgânico mas sintético, e, da mesma categoria serão também analisados o poliestireno expandido (EPS) e a espuma rígida de poliuretano (PUR / PIR). No que concerne aos materiais orgânicos de fontes renováveis serão analisadas as fibras de linho, a cortiça, as fibras de madeira e a celulose. Para efeitos de comparação serão ainda analisados os seguintes materiais de isolamento de origem inorgânica: lã de rocha, lã de vidro e espuma de silicato de cálcio.

#### 5.2.1. XPS – POLIESTIRENO EXTRUDIDO (material de referência)

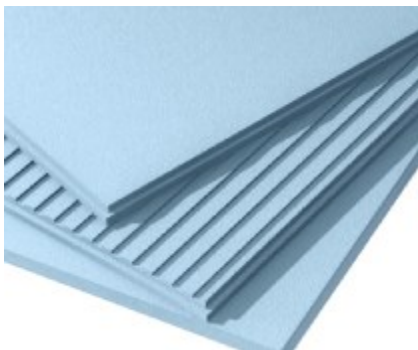


Figura 49: XPS.  
(Fonte: <http://www.texsa.com>)

Para a produção de XPS é majoritariamente utilizado poliestireno derretido com CO<sub>2</sub>, ou por vezes também com Clorofluorcarbonos halogenados (CFC), agindo como propulsor e formando uma espuma. O XPS praticamente não absorve água e, é por esta característica utilizado frequentemente em áreas em contacto com água ou com elevada humidade. Outras possíveis aplicações são áreas de perímetro, coberturas planas, embasamentos, ou como suporte de carga, uma vez que tem uma resistência elevada à compressão (SOMMER, 2011).

O efeito do isolamento é criado pela inclusão de ar parado ou de gases, os quais são propulsores das células de espuma. Na produção de XPS existem emissões

de estireno (cerca de 15 kg por tonelada de XPS) e pentano. A poluição da qualidade do ar interior devido ao uso de placas de isolamento de XPS não é apreciável, de acordo com os conhecimentos atuais. Estudos têm demonstrado que, imediatamente após a preparação de produtos de poliestireno (aqui: XPS) são emitidos etilbenzeno e estireno, em pequenas quantidades gasosas. Estas emissões, no entanto, diminuem fortemente nos dias seguintes à produção. O XPS pode conter retardadores de chama à base de compósitos de bromados. Em caso de incêndio, isto pode provocar, para além dos gases de combustão usuais a emissão de gases tóxicos, como dioxinas altamente tóxicas e furanos. Além disso é produzida uma fumaça densa que torna difícil a orientação.

Em demolições não-destrutivas é teoricamente possível a reutilização de placas de isolamento de XPS não sujo. A reciclagem de XPS para criação de novas placas é, do ponto de vista técnico, perfeitamente possível (ver também poliestireno).

Hoje em dia, e devido à falta de logística de recolha e reciclagem, só os restos de produção são aproveitados para a reciclagem e a nova produção de XPS (WECOBIS, 2012).

Segundo Sommer (2011) estas são as vantagens e desvantagens do XPS:

#### Vantagens:

- elevada resistência à compressão
- resistente à humidade, ao envelhecimento e ao apodrecimento
- boa densidade para aplicações enumeradas de seguida
- não tem riscos para a saúde
- ecologicamente aceitável em casos de espuma com CO<sub>2</sub>

#### Desvantagens:

- criação de muito fumo em caso de incêndio
- nenhuma resistência à radiação UV, a superfície torna-se quebradiça quando exposta à luz solar
- impacte ambiental na fase de produção, emissões de estireno

#### Aplicações:

- paredes exteriores: pelo interior, no meio, no exterior, Etics, áreas de perímetro

- cobertura: sobre e por baixo de cobertura inclinada, cobertura plana, cobertura invertida
- laje: sob laje de piso, isolamento do perímetro

### 5.2.2. EPS - POLIESTIRENO EXPANDIDO



Figura 50: EPS.  
(Fonte: <http://salvisola.pt>)

EPS, ou Poliestireno expandido é um produto sintético proveniente do petróleo. O poliestireno (PS) é um polímero obtido a partir da polimerização do estireno ( $C_2H_3$ ), que é um produto obtido a partir do petróleo, embora se possa encontrar também em plantas e frutos, possuindo um cheiro doce.

O Poliestireno expandido (EPS), vulgarmente conhecido por esferovite, é produzido a partir do estireno expansível, obtido pela polimerização do estireno com incorporação dos agentes de expansão (em geral um pentano) e de nucleação e, eventualmente, de produtos específicos destinados a melhorar as características de comportamento ao fogo do poliestireno expandido (LABRINCHA, 2006).

Dadas as propriedades do EPS, é importante a sua correta aplicação para que seja garantido um desempenho adequado ao longo do tempo. Este material não constitui alimento (substrato) para o desenvolvimento de animais ou microrganismos. Em caso de grande acumulação de sujidade sobre uma placa, poderão surgir bolores que, no entanto, não afetarão o EPS. Todas as propriedades do EPS se mantêm inalteradas ao longo da vida do material. É bastante resistente ao envelhecimento, mas, do ponto de vista químico, dever-se-á ter em consideração a radiação solar direta, bem como outros tipos de

radiações ricas em energia, que deterioram o EPS por alterarem a sua estrutura química. Este processo é lento e dependente da intensidade de radiação e do tempo de exposição, porém, em conjunto com as intempéries, o processo pode ser acelerado. No entanto não se regista deterioração quando a radiação solar é difusa. A estrutura celular do EPS é igualmente danificada por solventes ou vapores destes, sendo este processo acelerado com temperaturas elevadas.

Este material é bastante utilizado na construção civil e na confeção de caixas térmicas para armazenamento de bebidas e alimentos. O EPS só aguenta uma temperatura de 100 ° C por um curto prazo de tempo e, relativamente a prazos um pouco mais alongados, apenas aguenta temperaturas a rondar os 80 ° C a 85 ° C (SOMMER, 2006).

Em casos de demolições não-destrutivas é possível a reutilização de placas de isolamento de EPS não sujo. A reciclagem de EPS para criação de novas placas é tecnicamente possível, porém apenas os resíduos de produção estão a ser reutilizados para a produção de EPS (WECOBIS, 2012).

#### Vantagens:

- leve
- elevada estabilidade dimensional;
- longevidade
- bom isolante térmico e acústico
- resistente à humidade, envelhecimento e apodrecimento;
- resistente a pragas;
- não tem riscos para a saúde
- ecologicamente aceitável em casos de espuma com CO<sub>2</sub>
- fácil armazenamento e manuseamento no local da obra

#### Desvantagens:

- o monómero de estireno, é prejudicial para a saúde humana e provoca irritação das mucosas, dor de cabeça, tontura, depressão, distúrbios da visão, vômitos, tonturas e desmaios. Deve haver um cuidado especial na produção de EPS devido à toxicidade da matéria-prima
- impacte ambiental na fase de produção, emissões de estireno
- criação de muito fumo e emissão de monóxido de carbono, dióxido de carbono e estireno em caso de incêndio
- apenas o material separado e limpo pode ser reciclado

- nenhuma resistência à radiação UV, tornando-se a superfície quebradiça quando exposta à luz solar

Aplicações:

- paredes exteriores: pelo interior, no meio, no exterior, Etics, áreas de perímetro
- telhado: sobre cobertura inclinada, abaixo e entre as vigas; cobertura plana
- laje: isolamento de revibração sob a betonilha

### 5.2.3. ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO (PUR / PIR)



Figura 51: PUR/PIR.  
(Fonte: <http://www.heinze.de>)

É produzido a partir de petróleo com a adição de catalisadores e de agentes de expansão (pentano) em espuma. Na produção, devido a uma reação química com calor elevado, o líquido passa através da substância de base para a forma gasosa. O seguido arrefecimento conduz ao congelar e formação da espuma. As placas de PU e PUR são altamente resistentes e têm, especialmente com uma laminação em alumínio, uma resistência térmica extremamente boa (SOMMER, 2006).

O efeito de isolamento é criado pela inclusão de gases ou de ar parado nas células da espuma. O maior mercado para isolamento de PU é a produção de painéis sanduíche para construção industrial e construção civil geral (cerca de 40% do total). A produção de espumas de PU provoca na sua produção elevadas emissões dos agentes propulsores. Na fase de utilização estas emissões são comparativamente bastante mais reduzidas. O agente propulsor é o pentano, um hidrocarboneto altamente inflamável. Os seus vapores são extremamente inflamáveis, e, juntamente com o ar formam misturas gasosas facilmente

explosivas. Existe um risco para a saúde através da inalação de vapores em elevada concentração. O uso do pentano requer, portanto, medidas de segurança aumentadas e instalações de produção resistentes à explosão. Estudos têm demonstrado que imediatamente após a produção podem existir ainda algumas emissões. Espumas de PUR são termicamente estáveis acima dos 120 ° C. Começam a decompor-se a partir dos 200-220°C nos seus dois materiais iniciais, isocianatos e polióis, e a estrutura da espuma começa a carbonizar. Em caso de incêndio é produzido um fumo denso. Em casos de demolições não-destrutivas é possível a reutilização de placas de isolamento de PUR/PIR não sujo. Com processos de glicólise os resíduos de espuma de PUR/PIR podem ser convertidos, a cerca de 200 ° C, em polioli de glicólise líquido que pode substituir algumas das matérias-primas necessárias para a produção de poliuretanos novos. Este método é apenas adequado para resíduos de produção cuja composição seja conhecida.

Para além disso, existe a possibilidade de aproveitar resíduos não contaminados através do prensar com cola. Os resíduos limpos das placas de PUR são triturados e misturados com cola de poliuretano sob pressão para formar novos painéis. Resíduos contaminados não se conseguem ainda reciclar (WECOBIS, 2012).

Segundo Sommer (2011) estas são as vantagens e desvantagens do PU/PUR:

#### Vantagens:

- excelente isolamento térmico e impermeabilização
- resistente à humidade, mofo, podridão, decadência e envelhecimento

#### Desvantagens:

- emissão de gases tóxicos danosos para a saúde humana, em caso de incêndio
- reciclagem condicionada
- não compostável
- necessita de elevada energia na produção
- as espumas são perigosas na sua produção
- ecologicamente questionável por ser um produto à base de petróleo e com subprodutos duvidosos

#### Aplicações:

- paredes exteriores: no interior, no meio, no exterior, Etics
- cobertura: sobre cobertura inclinada, por baixo e entre as vigas; cobertura plana
- laje: sob a betonilha ou nos tetos

#### 5.2.4. FIBRAS DE LINHO:



Figura 52: Fibras de linho.  
(Fonte: <http://www.haganatur.ch>)

Placas de fibras de linho são constituídas por fibras curtas da planta do linho, que são misturadas com amido ou com fibras sintéticas.

As fibras curtas são um subproduto das fibras longas, que são processadas na indústria têxtil para Linho. A resistência ao fogo é aumentada com a adição de polifosfato de amónio ou boratos. Para evitar a infestação por pragas, são ainda adicionados sais de boro.

Este tipo de isolamento está disponível em placas, feltro ou enchimento (SOMMER, 2006).

Estudos que observam a quantidade de fibras orgânicas soltas durante a instalação e até a fase de utilização relatam que, após a instalação e devida limpeza da obra, os valores das fibras soltas se encontram num nível considerado não prejudicial à saúde. Concentrações elevadas não foram identificadas. Em demolições não destrutivas (com aplicação solta) é perfeitamente possível a reutilização de linho não contaminado ou sujo (WECOBIS, 2012).

Segundo Sommer (2011) estas são as vantagens e desvantagens das placas de fibras de linho:

**Vantagens:**

- excelente isolamento térmico e acústico
- resistente à humidade
- resistente a pragas e fungos
- sem riscos para a saúde humana
- recurso renovável e local

**Desvantagens:**

- ecologicamente questionável devido à adição de boratos e/ou fibras sintéticas
- a compostagem e a reciclagem são dificultadas devido aos aditivos

**Aplicações:**

- paredes exteriores: isolamento exterior ventilado entre vigas de madeira
- cobertura: sobre cobertura inclinada, por baixo e entre as vigas
- laje: não aplicável
- construções leve: entre as vigas e pilares de madeira

### **5.2.5. CORTIÇA**



Figura 53: Cortiça.  
(Fonte: <http://rundum-natur.de>)

A cortiça é um material que tem acompanhado a Humanidade desde tempos imemoriais e que bem cedo se distinguiu em aplicações ligadas à construção, nomeadamente nos países mediterrânicos de onde provém. A cortiça é um material cujas aplicações são conhecidas desde a Antiguidade, algumas delas,



desde logo relacionadas com a construção, mas sobretudo como artefacto flutuante e como vedante, cujo mercado, a partir do início do século XX, teve uma enorme expansão, nomeadamente face ao desenvolvimento de aglomerados diversos à base de cortiça. Este é considerado um material estratégico utilizado para múltiplas aplicações, desde a vedação de vinhos até à aeronáutica (GIL, 2005), e é conhecido pela sua elevada capacidade de isolamento térmico e acústico, bem como vedante.

É um material de origem vegetal proveniente da casca do sobreiro. O sobreiro nasce na bacia ocidental do Mediterrâneo e tem um tempo de vida entre 170 a 200 anos, podendo ser descortiçado, durante este período, cerca de 15 a 18 vezes (AMORIM, 2012).

Após a casca ser moída, a cortiça é aquecida com vapor de água quente sob exclusão de ar. O material obtido é depois processado com resinas próprias da cortiça ou com outros aglutinantes (betume) para painéis de isolamento. Relativamente à cortiça reciclada o processo é semelhante (SOMMER, 2006).

A União Europeia é o maior produtor de cortiça (> 80%), particularmente os países do Sul do Mediterrâneo, entre os quais se destaca Portugal (> 50%). Os sobreirais estão extremamente bem adaptados às regiões semiáridas do Sul da Europa (França, Itália, Espanha), evitando a desertificação e sendo o habitat perfeito para muitas espécies animais e vegetais. A quase totalidade da cortiça é processada na União Europeia, que importa também alguma cortiça do Norte de África (Marrocos, Argélia e a Tunísia) (GIL, 2005).

A cortiça é utilizada na construção, em forma natural (rolhas), de granulado (linóleo, discos de cortiça, Rubbercork, Parquet e decorativos) e aglomerados (juntas mecânicas, de dilatação, artefactos e aglomerado negro). A sua estrutura celular é composta por uma colmeia de pequenas células de suberina, um ácido complexo, preenchidas com uma mistura gasosa quase idêntica à do ar. Cada centímetro cúbico de cortiça contém, em média, 40 milhões de células, existindo numa rolha de cortiça cerca de 800 milhões de células (AMORIM, 2012).

A composição química da cortiça é, segundo Amorim (2012), constituído por: suberina (45%) – principal componente das paredes das células, responsável pela elasticidade da cortiça; lenhina (27%) – composto isolante; polissacáridos (12%) – componentes das paredes das células que ajudam a definir a textura da cortiça;

taninos (6%) – compostos polifenólicos responsáveis pela cor; ceroides (5%) – compostos hidrofóbicos que asseguram a impermeabilidade da cortiça.

Segundo Sommer (2011) estas são as vantagens e desvantagens da cortiça:

Vantagens:

- excelente isolamento térmico e acústico
- resistente à humidade
- resistente à podridão, decadência e envelhecimento
- resistente a pragas
- elevada capacidade de armazenamento
- elevada resistência à carga
- elevada estabilidade dimensional;
- aberto à difusão
- matéria-prima renovável
- sem preocupações do ponto de vista ecológico
- adequado para o depósito na natureza

Desvantagens:

- as placas não têm encaixes, o que pode trazer problemas de pontes térmicas e acústicas na sua colocação, quando não preenche totalmente a caixa de ar;
- relativamente pesada em comparação com os outros materiais de isolamento;
- combustível, gerando monóxido e dióxido de carbono, o que a torna menos indicada para alguns tipos de utilizações
- não é adequada para todas as aplicações
- Cortiça impregnada pode ter riscos para a saúde
- não é compostável

Aplicações:

- paredes exteriores: no interior, no meio, no exterior, Etics
- cobertura: sobre cobertura inclinada, por abaixo e entre as vigas; cobertura plana
- laje: isolamento de revibração sob a betonilha
- construção leve: entre vigas e pilares de madeira

### 5.2.6. PAINÉIS DE FIBRA DE MADEIRA



Figura 54: Fibra de madeira.  
(Fonte: <http://www.glunz.de>)

Os painéis de fibra de madeira estão incluídos nos materiais orgânicos, no grupo das fibras de plantas. O efeito do isolamento é gerado pela inclusão de ar nos interstícios das fibras. A fibra de madeira como isolamento (antigamente: isolamento de fibra porosa de madeira, painéis de fibra de madeira macia) é regulamentada de forma a conter pelo menos 80% de fibras de madeira e opcionalmente ter aditivos ou agentes ligantes, e, é produzida com um método seco ou molhado (WECOBIS, 2012).

Os painéis de fibras de madeira são feitos a partir de restos de madeira ou resíduos. São cortados em lascas de madeira e de seguida transformados em fibras. Com a adição de água é criada uma polpa de fibras, a qual, sob pressão e temperatura elevada (cerca de 350 ° C), forma as placas. A ligação das fibras é efetuada somente através das resinas da própria madeira. Placas com resistência à humidade são impregnadas com resina natural ou betume. Devido á possível emissão de gases a partir das placas betumadas, como o MDF, deve ser evitada a sua utilização em ambientes fechados (SOMMER, 2006).

A poluição da qualidade do ar interior devido ao uso de placas de isolamento de fibra de madeira não é apreciável, à luz dos conhecimentos atuais. É teoricamente possível reutilizar as placas em demolições não-destrutivas. O isolamento de fibra de madeira sem aditivos pode, teoricamente, ser compostado (depósito em superfícies). Os isolamentos de fibra de madeira, sem aditivos ou impurezas, são considerados produtos biodegradáveis provenientes de recursos renováveis (WECOBIS, 2012).

Segundo Sommer (2011) estas são as vantagens e desvantagens dos painéis de fibra de madeira:

#### Vantagens:

- excelente isolamento térmico e acústico
- excelente capacidade de armazenamento
- aberto à difusão
- produção a partir de produtos residuais de matérias-primas renováveis locais
- reciclável

#### Desvantagens:

- elevado consumo de energia na produção
- possível emissão de toxinas em placas betumadas
- placas impregnadas não são compostáveis

#### Aplicações:

- parede exterior: no interior, Etics, no exterior ventilado
- cobertura: sobre cobertura inclinada, por baixo e entre as vigas; cobertura plana
- laje: isolamento de revibração sob a betonilha, betonilhas secas, piso de soalho, parquet e laminado
- construções leves: entre vigas e pilares de madeira

### 5.2.7. CELULOSE EM FLOCOS E PLACAS



Figura 55: Celulose.  
(Fonte: <http://www.glunz.de>)

A Celulose em flocos e placas é feita a partir de resíduos de papel antigo (p.ex. jornais) rasgado e /ou prensado. Para proteção contra incêndios e parasitas é adicionado uma mistura de sal de boro ou bórax. A Celulose pode ser usada solta, como enchimento (horizontal) ou ser pulverizada juntamente com água para dentro de uma espécie de cofragem (vertical). A celulose também existe em forma de placas rígidas produzidas a partir das fibras de celulose. O corte e manuseamento requerem da parte da instalação um conhecimento especializado (SOMMER, 2006).

Sobretudo na fase da instalação deste tipo de isolamento são levantadas muitas poeiras e fibras. A instalação deverá, por esta razão, ser feita por pessoas especializadas e experientes. A utilização de placas e as ferramentas adequadas (corte com aspiração simultânea) torna a sua aplicação mais limpa e liberta muito menos poeira e fibras soltas do que em forma de flocos para enchimentos. O corte com serras normais existentes nas obras provoca uma elevada concentração de pó.

Os flocos de celulose não misturados/contaminados com outros produtos podem ser reutilizados para a mesma função.

Em demolições não destrutivas (com aplicação solta) é perfeitamente possível a reutilização da celulose (WECOBIS, 2012).

Segundo Sommer (2011) estas são as vantagens e desvantagens dos painéis de celulose:

Vantagens:

- excelente isolamento térmico e acústico
- regula a humidade
- resistente a fungos e vermes
- aberto à difusão
- elevada elasticidade das placas de celulose
- produção com baixo consumo de energia
- baixo risco de inflamar
- reciclável após aspiração
- sem preocupações do ponto de vista ecológico
- baixo custo

Desvantagens:

- baixa resistência à compressão
- elevada exposição a poeiras durante a injeção/aplicação do material
- o processamento das placas de celulose tem um manuseamento difícil
- só pode ser depositado após tratamento que elimine os aditivos (sais de boro)
- não compostável devido aos boratos

Aplicações:

- paredes exteriores: entre as vigas de madeira
- cobertura: cobertura inclinada entre as vigas; entre o feixe de cobertura plana leve
- laje: não é adequado
- construção leve: entre vigas e pilares

### 5.2.8. LÃ DE ROCHA MINERAL E DE VIDRO



Figura 56: Lã mineral.  
(Fonte: Jalag-syndication.de)

As Lãs de rocha, mineral e de vidro são em 90% feitas de recursos minerais e diferem apenas na composição da matéria-prima, sendo as suas propriedades são praticamente idênticas.

As matérias-primas são misturadas, fundidas a 120°C - 1400°C e sopradas ou sugadas através de bicos finos (trituração). No momento da formação das fibras, o aglutinante dissolvido em água (mistura de resina), os óleos minerais e as emulsões de silicone são pulverizados para cima das fibras. O resultante vapor de água retira tanta energia ao composto derretido, que através de arrefecimento rápido, este se solidifica de forma vítrea. A lã é de seguida curada num forno. Na cura as resinas tornam-se termofixos (termo - endurecidos). Eventualmente pode ser aplicada, de seguida, uma laminação antes das placas serem cortadas nas suas dimensões finais.

De 1m<sup>3</sup> de matéria-prima são produzidos cerca de 100m<sup>3</sup> de lã de rocha (WECOBIS, 2012).

Ao acrescentar resinas sintéticas e outros aditivos, as propriedades podem ser modificadas. A lã de rocha ou de vidro são comercializadas em forma de placas ou feltro. Para além do poliestireno, a lã de rocha é um dos materiais de isolamento térmico mais utilizados na Alemanha (SOMMER, 2006).

O efeito de isolamento é criado pela inclusão de gases ou de ar parado nos interstícios das fibras. A partir de temperaturas acima de 200°C começa a libertação de resina fenólica. É expectável a libertação de vapores de formaldeído e, subsequentemente, a ocorrência de irritação das mucosas humanas. A produção de fumo é muito baixa em caso de contacto com o fogo. Resíduos

separados e limpos são aceites para a reciclagem pelos fabricantes para a introdução no processo de fabricação de novas placas.

Segundo Sommer (2011) estas são as vantagens e desvantagens das lãs minerais:

Vantagens:

- excelente isolamento térmico e acústico
- resistente à deterioração
- resistente a fungos e vermes
- aberto à difusão
- processamento fácil
- não inflamável
- matéria-prima existente em grande abundância
- adequado para o despejo

Desvantagens:

- sensível à humidade
- elevado consumo de energia na produção
- não compostável

Aplicações:

- paredes exteriores: no interior, no meio, no exterior, Etics
- cobertura: sobre cobertura inclinada, abaixo e entre as vigas; cobertura plana
- laje: isolamento de revibração sob a betonilha
- construções leves (separação de parede-teto): entre vigas e pilares de madeira ou metal



### 5.2.9. ESPUMA DE VIDRO



Figura 57: Espuma de vidro.  
(Fonte: Jalag-syndication.de)

A espuma de vidro é feita a partir de matérias-primas naturais, como areia de quartzo ou de vidro reciclado. Na produção a matéria-prima é aquecida a temperaturas superiores a 1000°C e é adicionado um agente (carbono) para a formação de espuma. Na libertação de CO<sub>2</sub> são formadas muitas pequenas células de gás envolvidas pelo vidro. Com o arrefecimento da espuma de vidro criam-se grandes tensões de temperatura, e, não sendo possível um manuseamento da matéria para a obtenção da forma, são utilizadas cofragens para se obter as placas. Existem placas com alta resistência à pressão as quais são utilizadas para minimizar as pontes térmicas nos embasamentos, podendo mesmo substituir a primeira fila de pedras (SOMMER, 2006).

Placas de espuma de vidro são colocadas raramente em situações secas. Uma vez que a espuma de vidro é muito quebradiça e se parte facilmente com pressões pontuais, é necessário envolver o material por completo com betume. Não são expectáveis riscos de contaminações para a água, ar e solo, tanto quanto o conhecimento atual permite aquilatar. A demolição não destrutiva das placas é normalmente impossível, e, uma vez que estas estão envolvidas por completo pelas betuminosas e também por serem muito quebradiças, não é possível a sua reutilização. No caso de recuperações de telhados e fachadas com placas de espuma de vidro esta não deverá ser removida, mas sim utilizada como camada de base/regularização. No caso de se conseguir separar completamente a espuma de vidro dos restantes materiais, esta poderá ser reutilizada e fundida para novas placas de espuma de vidro. Espumas de vidro com restos de betumes podem ser triturados e serem utilizados como enchimento/gravilha noutras áreas da construção como a construção de estradas, ou barreiras acústicas. Os custos

de desmantelamento relativos a produtos de vidro totalmente envolvidos noutros produtos tornam-se muito elevados (WECOBIS, 2012).

Segundo Sommer (2011) estas são as vantagens e desvantagens da espuma de vidro:

Vantagens:

- excelente isolamento térmico e acústico, mesmo quando molhado
- insensível á humidade
- aberto à difusão
- processamento fácil
- não inflamável
- impermeável à água e ao vapor
- resistente à geada
- resistente a pragas, podridão e decadência
- resistente a ácidos e a químicos
- elevada resistência à compressão
- estabilidade dimensional
- livre de CFC's
- pode substituir poliestireno em aplicações ao ar livre
- curtas distâncias de transporte
- sem riscos para a saúde
- matéria-prima existente em grande abundância
- aterro como entulho

Desvantagens:

- ligação parcial com betume na produção
- elevada rigidez, o que a torna quebradiça principalmente a cargas pontuais
- relativamente caro

Aplicações:

- paredes exteriores: no interior, no meio e isolamento do perímetro
- cobertura: cobertura plana acessível
- laje: sob a betonilha
- construções leves: não aplicável

### 5.2.10. PLACAS DE SILICATO DE CÁLCIO



Figura 58: Silicato de cálcio.  
(Fonte: [www.dracholin.de](http://www.dracholin.de))

Placas de silicato de cálcio são placas de isolamento laminado, em que as camadas individuais são compostas de materiais que têm uma elevada capacidade de absorção capilar. Frequentemente são utilizados os silicatos de cálcio porosos, mas por vezes também são utilizadas camadas hidrofóbicas. Este tipo de isolamento com capilares ativos é predominantemente utilizado em paredes interiores, para absorção e controle de humidade. A baixa resistência de difusão das placas de silicato cálcio permite secar a humidade interior e, portanto não necessita do uso de retardadores de vapor ou de impermeabilizações (SOMMER, 2006).

Devido ao ar incorporado nas placas, estas tornam-se isolantes térmicos. A condutividade capilar dos painéis permite o transporte de humidade. O crescimento de bolores é inibido devido ao pH elevado das placas. Placas de isolamento de silicato de cálcio não contêm componentes ambientalmente preocupantes e são, devido à sua dupla função (isolamento e controle de humidade), especialmente interessantes para o isolamento interior de espaços com problemas de humidade. Em termos de rendimento térmico, existem outros materiais isolantes minerais com características ecológicas semelhantes (por exemplo, lã de rocha lã de vidro), e a escolha depende da localização da sua aplicação, sendo que uns podem ser mais adequados que outros. As placas de isolamento de silicato de cálcio são 100% minerais e não contêm materiais tóxicos. Até à data, não é conhecida a diminuição da qualidade do ar interior decorrente da utilização de placas de isolamento de silicato. De acordo com as declarações de produtos ambientais por fabricantes de painéis, este isolamento não produz quaisquer emissões nocivas. Em demolições não-destrutivas é

teoricamente possível a reutilização de placas de silicato de cálcio. A desmontagem em caso de fixações mecânicas torna o desmantelamento muito fácil. Em caso de trituração é possível uma reutilização como material de enchimento. Pese embora o elevado teor de cal e o seu pH específico, podem-se moer as placas e depositar no lixo agrícola (WECOBIS, 2012).

Segundo Sommer (2011) estas são as vantagens e desvantagens das placas de silicato de cálcio:

**Vantagens:**

- bom isolamento acústico
- aplica-se bem nas paredes difíceis, para isolamento interior
- elevada resistência à humidade
- resistente aos fungos
- elevada resistência à compressão
- incombustível e resistente ao fogo
- reciclável

**Desvantagens:**

- relativamente caro

**Aplicações:**

- paredes exteriores: isolamento interior, Etics
- cobertura: não aplicável
- laje: não aplicável
- construção leve: não aplicável

### **5.3. RESULTADOS**

A tabela nº13 contém os dados originais dos vários materiais de isolamento térmico, os quais foram retirados conforme indicado no Capítulo IV (Bases de dados e semáforos). Todos estes dados se referem a 1m<sup>3</sup> do material em questão em Portugal.

Como material de referência é considerado o XPS.

Tabela nº13: Tabela com os dados originais de todos os parâmetros e valores depois da normalização. (Fonte própria)

Valores originais																	
Isolamento	TP	EP	VP	OP	GE	AR	WN	FA	RF	TRN	AK	WLF	SH	HBK	SD	KK	EK
Linho	21,14	0,04725	0,17115	94,15	1316	0,5565	96810	152,25	1	1500	1	0,04	4	30	0	20	43,33
Cortiça	-110	0,0609	0,364	2,68	999	0,451	18237	17,5	1	450	1	0,045	4	30	0	30	43,33
Fibra de madeira (m.)	-230	0,0223	0,193	227	2026	0,873	123903	278	1	450	1	0,041	4	30	0	40	43,33
Fibra de madeira (s.)	-204	0,0317	0,181	4,1	2006	0,92	306	19,4	1	450	1	0,041	4	30	0	40	43,33
Celulose	30,8	0,1555	0,335	378,5	1325	0,56	113650	437,5	1	75	1	0,04	4	30	0	11	43,33
EPS	66,3	0,0129	0,138	3,074	105	0,905	20370	30,09	1	4200	1	0,042	3	40	1	9	150
XPS	142,2	0,028665	0,03141	70,65	109	1,9845	96480	185,85	1	4200	1	0,037	3	40	1	30	150
PUR/PIR	660,6	0,2148	2,094	109,2	13650	6,09	30870	339	1	4200	1	0,025	3	40	1	30	150
Lã de rocha	45	0,01435	0,1225	36,25	702	0,2725	130	134,5	1	450	1	0,035	1	50	2	13	275,5
Espuma de vidro	109	0,024	0,209	7,37	1525	0,722	101	77,9	1	450	1	0,038	1	50	2	50	275,5
Silicato de Cálcio	105	0,0217	0,191	5,3	1285	0,524	666	258	1	450	1	0,045	1	50	0	80	275,5
max	660,6	0,2148	2,094	378,5	13650	6,09	123903	437,5	1	4200	1	0,045	4	50	2	80	275,5
min	-230	0,0129	0,03141	2,68	105	0,2725	101	17,5	1	75	1	0,025	1	30	0	9	43,33

Valores depois da normalização																	
Isolamento	TP	EP	VP	OP	GE	AR	WN	FA	RF	TRN	AK	WLF	SH	HBK	SD	KK	EK
Linho	0,28	0,17	0,07	0,24	0,09	0,05	0,78	0,32	0,00	0,35	0,00	0,75	1,00	1,00	0,00	0,15	0,00
Cortiça	0,13	0,24	0,16	0,00	0,07	0,03	0,15	0,00	0,00	0,09	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,30	0,00
Fibra de madeira (m.)	0,00	0,05	0,08	0,60	0,14	0,10	1,00	0,62	0,00	0,09	0,00	0,80	1,00	1,00	0,00	0,44	0,00
Fibra de madeira (s.)	0,03	0,09	0,07	0,00	0,14	0,11	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,80	1,00	1,00	0,00	0,44	0,00
Celulose	0,29	0,71	0,15	1,00	0,09	0,05	0,92	1,00	0,00	0,00	0,00	0,75	1,00	1,00	0,00	0,03	0,00
EPS	0,33	0,00	0,05	0,00	0,00	0,11	0,16	0,03	0,00	1,00	0,00	0,85	0,67	0,50	0,50	0,00	0,46
XPS	0,42	0,08	0,00	0,18	0,00	0,29	0,78	0,40	0,00	1,00	0,00	0,60	0,67	0,50	0,50	0,30	0,46
PUR/PIR	1,00	1,00	1,00	0,28	1,00	1,00	0,25	0,77	0,00	1,00	0,00	0,00	0,67	0,50	0,50	0,30	0,46
Lã de rocha	0,31	0,01	0,04	0,09	0,04	0,00	0,00	0,28	0,00	0,09	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,06	1,00
Espuma de vidro	0,38	0,05	0,09	0,01	0,10	0,08	0,00	0,14	0,00	0,09	0,00	0,65	0,00	0,00	1,00	0,58	1,00
Silicato de Cálcio	0,38	0,04	0,08	0,01	0,09	0,04	0,00	0,57	0,00	0,09	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00

Normalização feita a partir do:	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX
---------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

	Linho	Cortiça	Fibra de madeira (m.)	Fibra de madeira (s.)	Celulose	EPS	XPS	PUR/PIR	Lã de rocha	Espuma de vidro	Silicato de Cálcio
ecologia	0,21	0,19	0,24	0,05	0,38	0,15	0,29	0,66	0,08	0,09	0,12
conforto humano	0,55	0,60	0,56	0,56	0,55	0,50	0,45	0,33	0,30	0,33	0,20
economia	0,08	0,15	0,22	0,22	0,01	0,23	0,38	0,38	0,53	0,79	1,00
<b>Classificação geral</b>	<b>0,84</b>	<b>0,94</b>	<b>1,02</b>	<b>0,83</b>	<b>0,95</b>	<b>0,89</b>	<b>1,12</b>	<b>1,37</b>	<b>0,91</b>	<b>1,21</b>	<b>1,32</b>

Tabela nº14: Tabela com os valores somados de cada categoria. (Fonte própria)

Os resultados obtidos, descritos na tabela nº14, são condicionados pelos pressupostos assumidos anteriormente. O XPS foi selecionado como material de referência, o qual também influencia as conclusões dos resultados. Como se trata de um sistema flexível o utilizador pode decidir qual é o material de referência considerado.

Tal como foi descrito anteriormente, estes resultados não criam nem devem criar rótulos, não declaram definitivamente que um material é melhor que outro, mas informam sobre os pontos fortes e fracos de cada um comparativamente ao material de referência, de modo que o utilizador possa decidir qual o material que, no seu caso, se aplica melhor.

No caso de estudo, o material de referência ficou na classificação geral em oitavo lugar, o que significa que a maioria dos materiais analisados é mais sustentável que o XPS, designadamente: as placas de fibra de madeira (seca e húmida), os painéis de linho, as placas de EPS, as placas de lã de rocha, a cortiça e a celulose. Houve três materiais que ficaram abaixo do XPS (referência), ou seja num grau de sustentabilidade inferior.

#### Classificação geral

1. Fibra de madeira (seco)	0,83
2. Linho	0,84
3. EPS	0,89
4. Lã de rocha	0,91
5. Cortiça	0,94
6. Celulose	0,95
7. Fibra de madeira (húmido)	1,02
<b>8. XPS (referência)</b>	<b>1,12</b>
9. Espuma de vidro	1,21
10. Silicato de cálcio	1,32
11. PUR/PIR	1,37

Este resultado reflete um leque de resultados com uma diferença de 0,54, estando 0,29 abaixo do material de referência e 0,25 acima.

Nos resultados parciais resultaram outras relações, constatando-se para o indicador ecológico os seguintes valores:

1. Fibra de madeira (seco)	0,05
2. Lã de rocha	0,08
3. Espuma de vidro	0,09
4. Silicato de cálcio	0,12
5. EPS	0,15
6. Cortiça	0,19
7. Linho	0,21
8. Fibra de madeira (húmido)	0,24
<b>9. XPS (referência)</b>	<b>0,29</b>
10. Celulose	0,38
11. PUR/PIR	0,66

Este resultado reflete um leque de resultados com uma diferença de 0,51, estando 0,24 abaixo do material de referência e 0,37 acima.

Para o indicador económico constataram-se os seguintes valores:

1. Celulose	0,01
2. Linho	0,08
3. Cortiça	0,15
4. Fibra de madeira (seco e húmido)	0,22
5. EPS	0,23
<b>6. XPS (referência) e PUR/PIR</b>	<b>0,38</b>
7. Lã de rocha	0,53
8. Espuma de vidro	0,79
9. Silicato de cálcio	1,00

Este resultado reflete um leque de resultados com uma diferença de 0,99, estando 0,37 abaixo do material de referência e 0,42 acima.

Para o indicador económico constataram-se os seguintes valores:

1. Silicato de cálcio	0,20
2. Lã de rocha	0,30
3. PUR/PIR e Espuma de vidro	0,33
4. <b>XPS (Referência)</b>	<b>0,45</b>
5. EPS	0,50
6. Linho e Celulose	0,55
7. Fibra de madeira (seco e húmido)	0,56
8. Cortiça	0,60

Este resultado reflete um leque de resultados com uma diferença de 0,40, estando 0,25 abaixo do material de referência e 0,15 acima.



### 5.3.1. XPS | EPS

Classificação geral EPS: 0,89

Classificação geral XPS (Ref.): 1,12

Na Classificação geral, ilustrada na figura nº60, o EPS conseguiu uma avaliação superior ao material de referência. Ao observar os resultados parciais é visível que o material de referência é apenas superior no parâmetro da condutividade térmica, dentro do indicador do conforto humano. Os restantes parâmetros de conforto humano têm avaliações idênticas.

Ecologicamente, o EPS produz menos gases de efeitos de estufa, tem um potencial de eutrofização e destruição da camada de ozono inferior, utiliza menos recursos abióticos e água e produz menos resíduos sólidos. Nos restantes parâmetros a avaliação ficou igual ou acima do valor de referência, como nos casos da reciclagem/flexibilidade, do Transporte/distância ao projeto e da energia incorporada. De uma forma geral, o critério ecológico obteve uma avaliação positiva relativamente à referência.

Do ponto de vista económico têm ambos o mesmo custo de final de vida, mas o XPS é mais dispendioso na fase de construção.

Resumindo o EPS é ecologicamente e economicamente mais vantajoso, e o seu desempenho inferior na condutividade térmica pode ser resolvido com o aumento da espessura da camada de isolamento.

Neste sentido, o EPS demonstrou ser comparativamente mais sustentável que o XPS, podendo considerar-se uma boa opção de substituição da solução de referência.

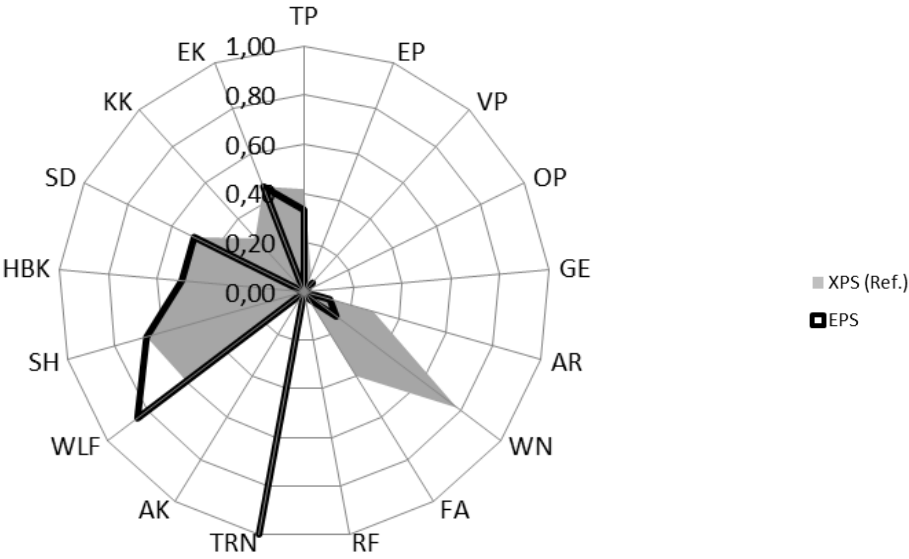


Figura 59: Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/EPS.  
(Fonte própria)

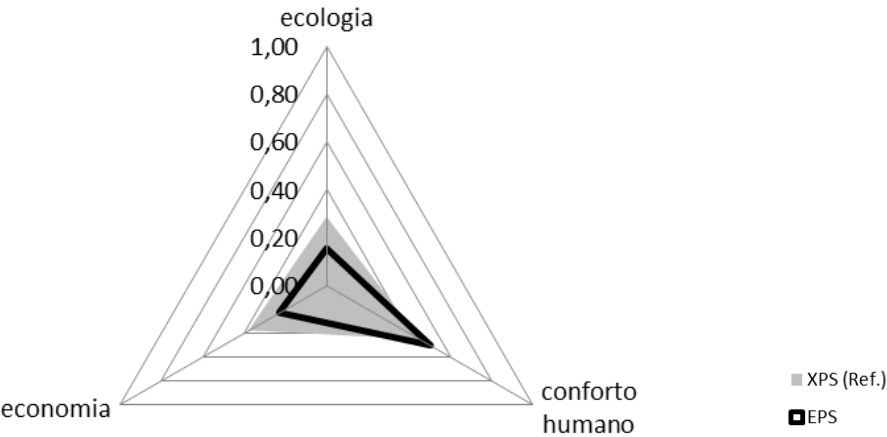


Figura 60: Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/EPS.  
(Fonte própria)

**5.3.2. XPS | PUR / PIR**

Classificação geral PUR/ PIR: 1,37

Classificação geral XPS (Ref.): 1,12

O PUR/PIR obteve uma classificação geral inferior ao material de referência, como se observa na figura nº62. Analisando os resultados parciais o PUR/PIR só consegue alcançar uma avaliação melhor que o material de referência em dois parâmetros, no uso da água e na condutividade térmica.

Ecologicamente, o PUR/PIR apresenta efeitos muito piores sobre o ambiente, e ainda do ponto de vista económico é uma solução mais cara que a referência. No que concerne ao conforto só se destaca relativamente à condutividade térmica.

O PUR/PIR é portanto, comparativamente com este material de referência, um material menos sustentável. No entanto poderá ser eventualmente utilizado em edifícios com perspectivas de longevidade elevada, para compensar a sua desvantagem ecológica.

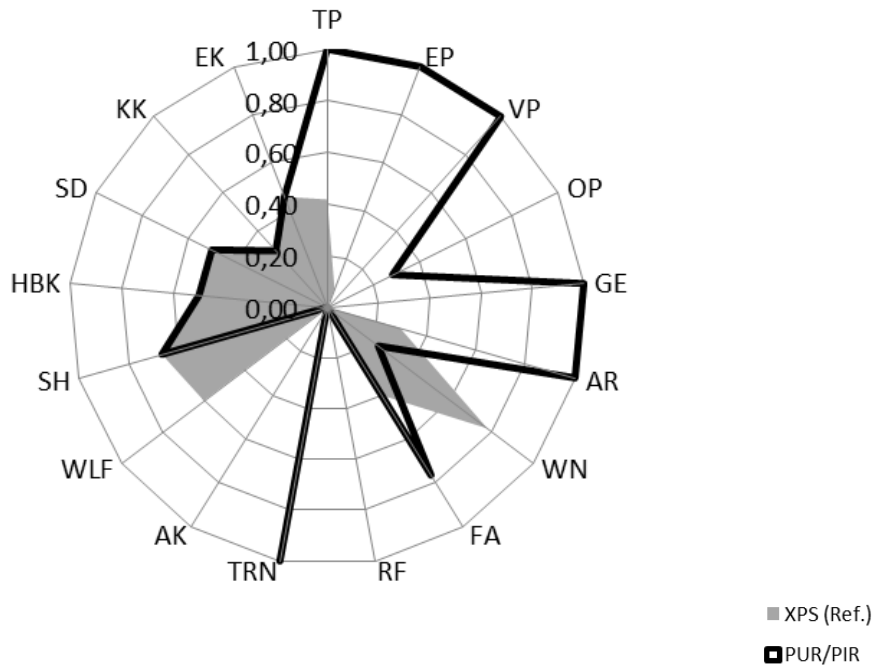


Figura 61: Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ PUR/PIR.  
(Fonte própria)

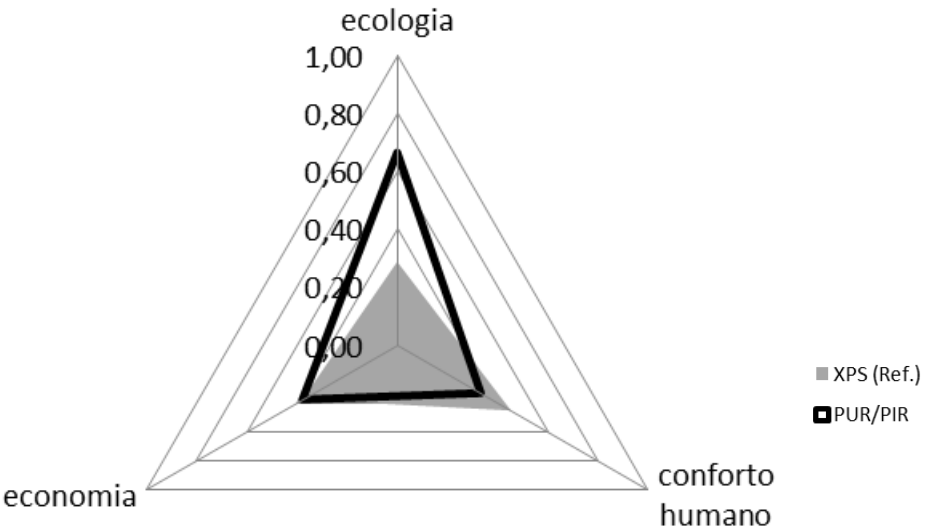


Figura 62: Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ PUR/PIR.  
(Fonte própria)

### 5.3.3. XPS | LINHO

Classificação geral Linho: 0,84

Classificação geral XPS (Ref.): 1,12

Na Classificação geral o linho conseguiu alcançar uma avaliação comparativa muito superior ao material de referência, principalmente se repararmos que a melhor avaliação geral obteve 0,83 e que o linho, com 0,84, está muito perto. Ao analisar os resultados parciais, utilizando a figura nº63, encontram-se no entanto alguns pontos fracos principalmente na área do conforto humano, nomeadamente na durabilidade, na segurança e na condutividade térmica (três em cinco).

Na área ecológica demonstra ter um desempenho muito favorável. Produz menos gases de efeito de estufa, causa menos resíduos sólidos e tem transportes/distâncias ao projeto inferiores, e, nos restantes parâmetros ecológicos, os seus valores estão ligeiramente acima dos de referência. Globalmente a sua avaliação ecológica é positiva mas tem alguns pontos fracos.

Em termos económicos este material é sempre favorável ao material de referência.

Neste caso, pode-se concluir que a utilização de linho é muito benéfico tanto económica como ecologicamente, contudo apresenta alguns deficits no conforto, sendo talvez aconselhável utilizar este tipo de material em edifícios temporários ou em edifícios onde a estadia/uso não é contínua.

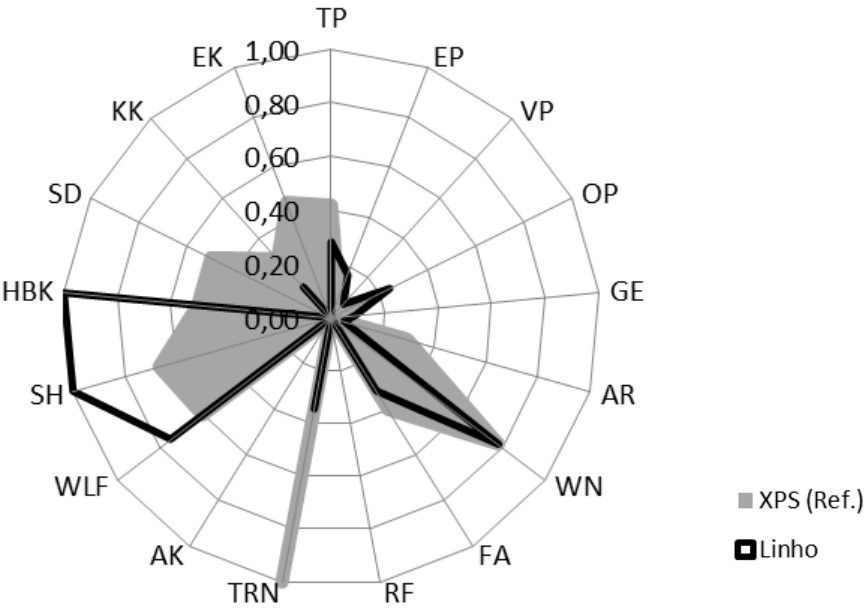


Figura 63: Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Linho.  
(Fonte própria)

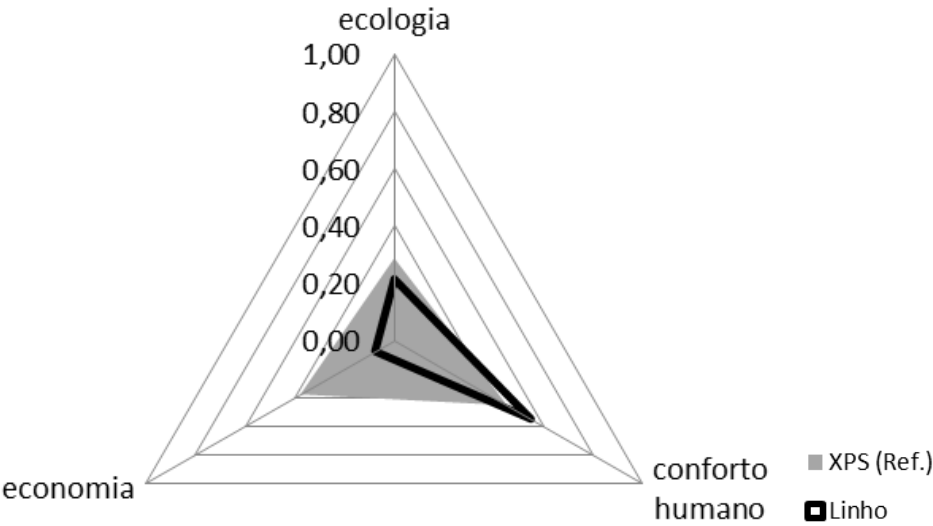


Figura 64: Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Linho.  
(Fonte própria)

#### 5.3.4. XPS | CORTIÇA

Classificação geral cortiça: 0,94

Classificação geral XPS (Ref.): 1,12

A classificação geral da cortiça (Fig. nº66) obteve uma avaliação comparativa superior ao material de referência. Ao analisar os resultados parciais, tal como no linho, a cortiça tem alguns parâmetros com avaliação inferior na parte do conforto humano. Estes são a durabilidade, a segurança e a condutividade térmica.

Na componente ecológica a cortiça tem um desempenho muito superior ao do material de referência, causa menos gases de efeito estufa, usa menos recursos abióticos, necessita menos água e causa menos resíduos sólidos; também no transporte/distância ao projeto e nos restantes parâmetros ecológicos os seus valores estão ligeiramente acima dos de referência. Globalmente a sua avaliação ecológica é positiva mas tem alguns pontos fracos.

Em termos económicos a cortiça é favorável na fase final de vida.

Neste caso, pode-se concluir que a utilização de cortiça é economicamente e ecologicamente vantajosa, mas como demonstra alguns deficits no conforto, talvez seja de aconselhar utilizar este tipo de material em edifícios temporários ou em edifícios onde a estadia/uso não é contínua.

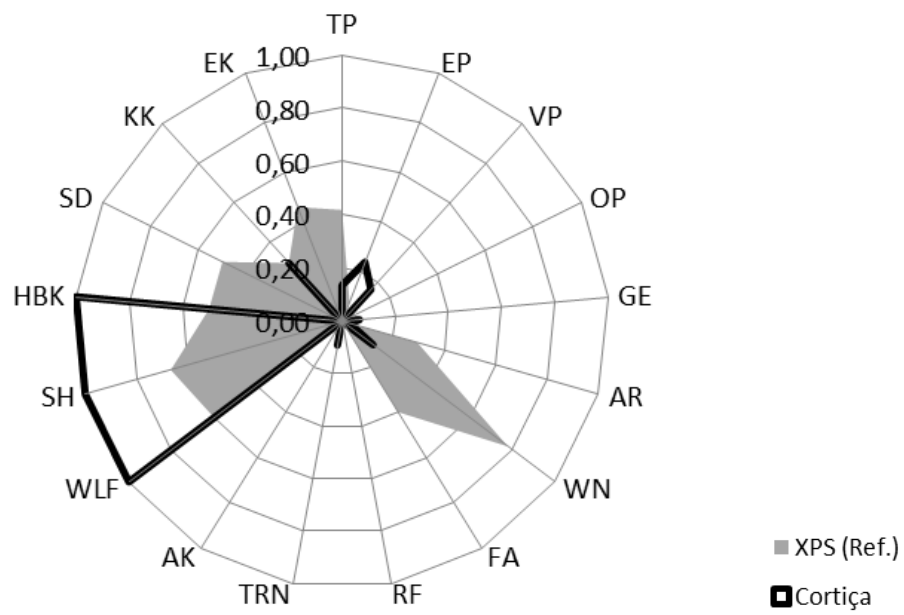


Figura 65: Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Cortiça.  
(Fonte própria)

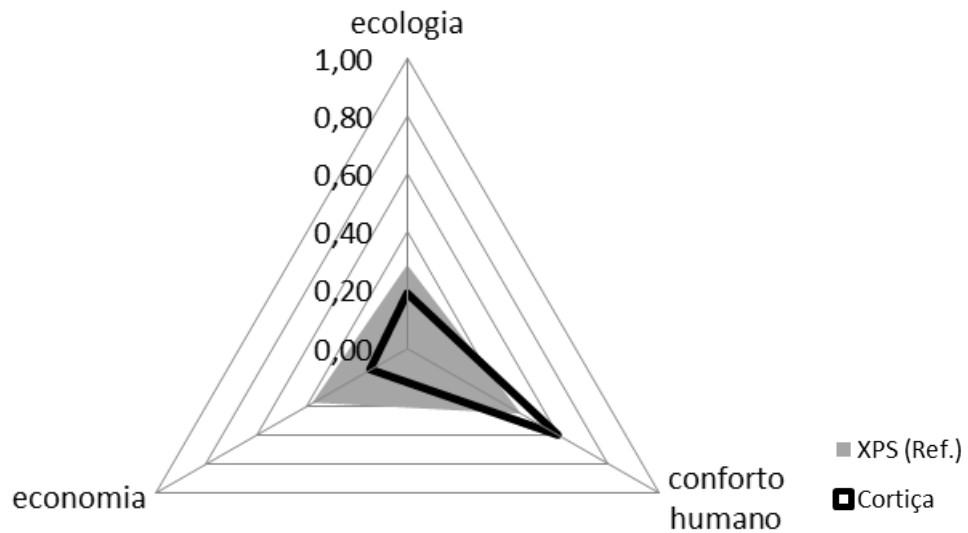


Figura 66: Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Cortiça.  
(Fonte própria)



### 5.3.5. XPS | FIBRA DE MADEIRA (MOLHADO)

Classificação geral Fibra de madeira (molhado): 1,02

Classificação geral XPS (Ref.): 1,12

Na figura nº68 constata-se que a classificação geral do isolamento de fibra de madeira (molhado) obteve uma avaliação comparativa superior ao material de referência. No entanto não se distancia muito na classificação geral do valor de referência, ou seja vem logo a seguir.

Analisando os resultados parciais constatam-se alguns valores fracos na componente de conforto humano, incluindo a durabilidade, a segurança e a condutividade térmica.

Na componente ecológica a fibra de madeira tem um desempenho muito superior ao do material de referência, causa menos gases de efeito estufa, tem um potencial de eutrofização inferior, usa menos recursos abióticos, e também no transporte/distância ao projeto obteve valores melhores. Nos restantes parâmetros ecológicos os seus valores estão ligeiramente acima dos de referência, e globalmente a sua avaliação ecológica é análoga ao valor de referência, dado que os parâmetros superiores e inferiores quase que se igualam.

Em termos económicos a fibra de madeira (molhado) é favorável na fase final de vida.

Neste caso, pode-se concluir que a utilização de isolamento de fibra de madeira (molhada) é economicamente benéfica, ambientalmente não traz benefícios muito especiais, e no conforto humano não existe uma clara vantagem. Com este resultado, considera-se um material muito semelhante ao de referência.

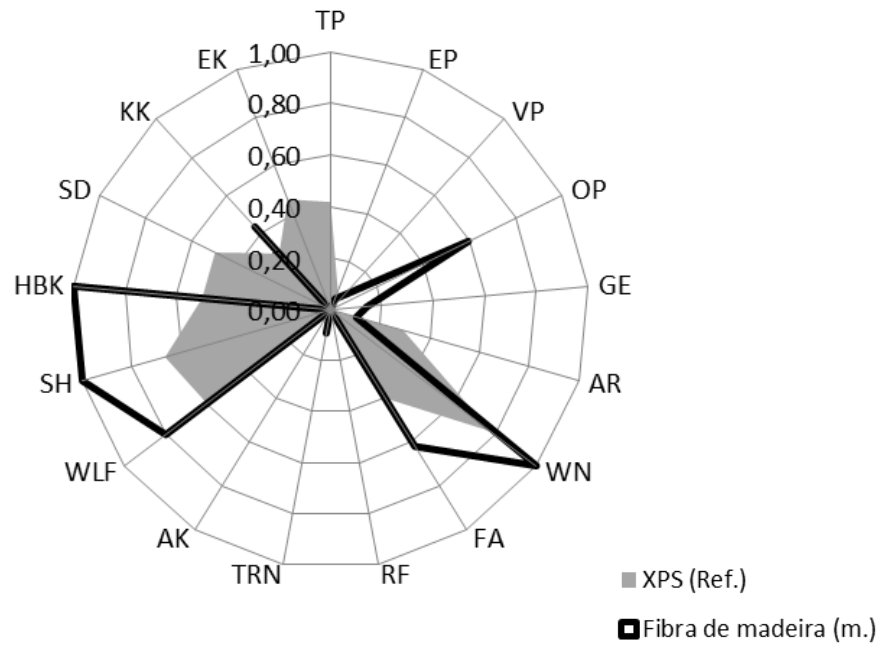


Figura 67: Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Fibra de Madeira (molhado). (Fonte própria)

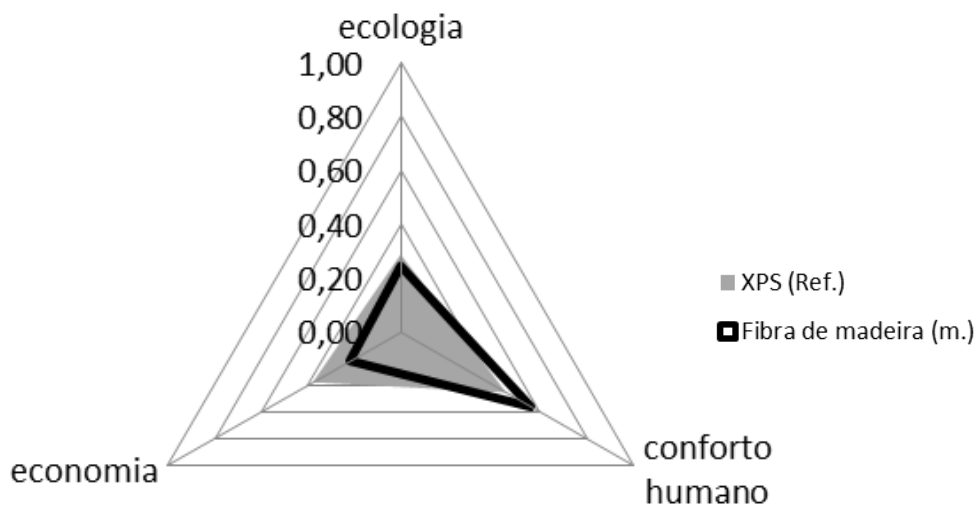


Figura 68: Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Fibra de Madeira (molhado). (Fonte própria)

### 5.3.6. XPS | FIBRA DE MADEIRA (SECO)

Classificação geral Fibra de madeira (seco): 0,83

Classificação geral XPS (Ref.): 1,12

A fibra de madeira (seco) foi o material com melhor classificação geral.

No entanto, ao analisar os resultados parciais observa-se que, mesmo este material obteve alguns parâmetros com cotações inferiores ao do material de referência. A figura nº69 permite verificar que no conforto humano a fibra de madeira (seco) tem valores inferiores em três parâmetros: a durabilidade, a segurança e a condutividade térmica.

Na parte ecológica a fibra de madeira (seco) obteve resultados muito bons, causa menos gases de efeito estufa, tem um potencial de destruição do ozono inferior, usa menos recursos abióticos e água, também no transporte/distância ao projeto obteve valores melhores. Nos restantes parâmetros ecológicos, os seus valores estão ligeiramente acima dos de referência, apenas na flexibilidade/reciclável os valores são idênticos. Globalmente a sua avaliação ecológica é muito positiva, aliás é o material com melhor classificação ecológica nos resultados parciais. Economicamente a fibra de madeira (seco) tem o mesmo desempenho que a fibra de madeira (húmido), sendo favorável na fase final de vida.

Neste caso, pode-se concluir que a utilização de isolamento de fibra de madeira (seca) é economicamente vantajosa, residindo a sua grande vantagem no seu desempenho ecológico. Quanto ao conforto humano existem alguns pontos fracos. Embora seja o material com a melhor classificação geral, e tal como em outros materiais que são fortes ecologicamente e economicamente, a sua aplicação será mais vantajosa em edifícios temporários ou em edifícios onde a estadia/uso não é contínua.

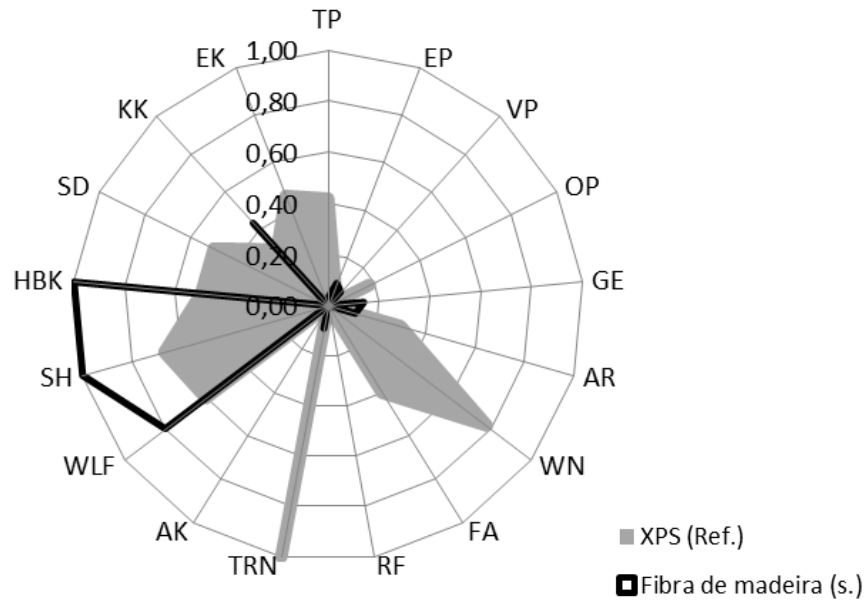


Figura 69: Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Fibra Madeira (seco). (Fonte própria)

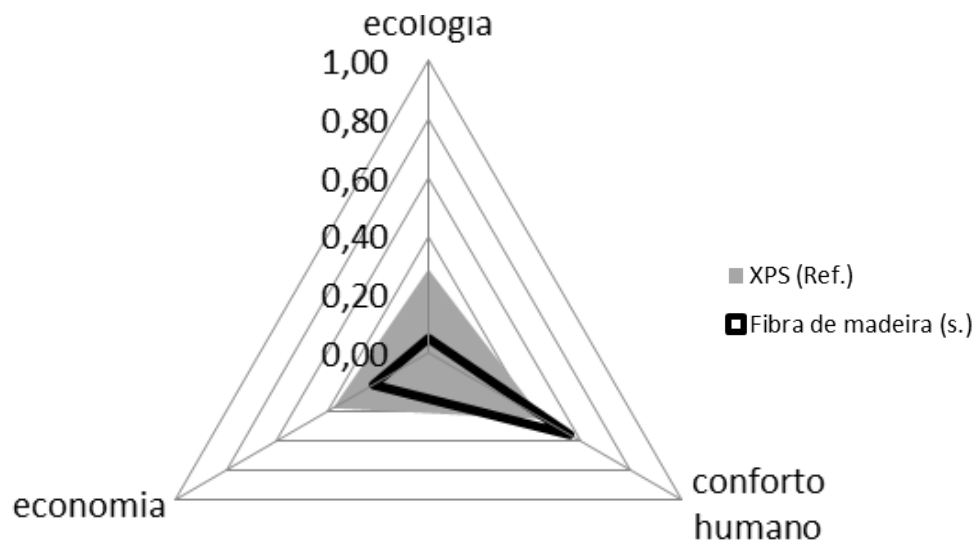


Figura 70: Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Fibra Madeira (seco). (Fonte própria)

**5.3.7. XPS | CELULOSE**

Classificação geral Celulose: 0,95

Classificação geral XPS (Ref.): 1,12

Na classificação geral o isolamento de celulose obteve uma avaliação comparativa superior ao material de referência.

Analisando os resultados parciais constata-se, através da figura nº70, que este material só obteve boas classificações do ponto de vista económico.

Na componente ecológica a celulose provoca menos gases de efeito estufa, usa menos recursos abióticos, requer menos no transporte/distância ao projeto, porém nos restantes parâmetros ecológicos os seus valores estão acima dos de referência, exceto a flexibilidade/reciclagem que equalizou com o material de referência.

Neste caso, pode-se concluir que a utilização de celulose é economicamente muito rentável, mas do ponto de vista ambiental e do conforto humano é um material relativamente fraco. No entanto o seu resultado geral ainda é vantajoso em comparação com o material de referência.

Este material pode ser uma opção para casos em que o investimento está fortemente condicionado economicamente, e, uma vez que os seus desempenhos ecológicos e de conforto humano são fracos, deverá sempre ser bem ponderada a sua aplicação.

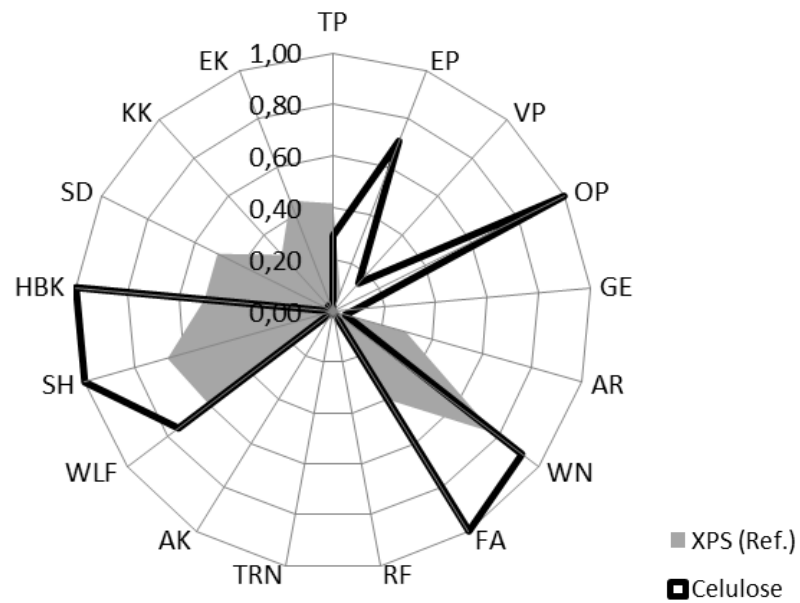


Figura 71: Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Celulose.  
(Fonte própria)

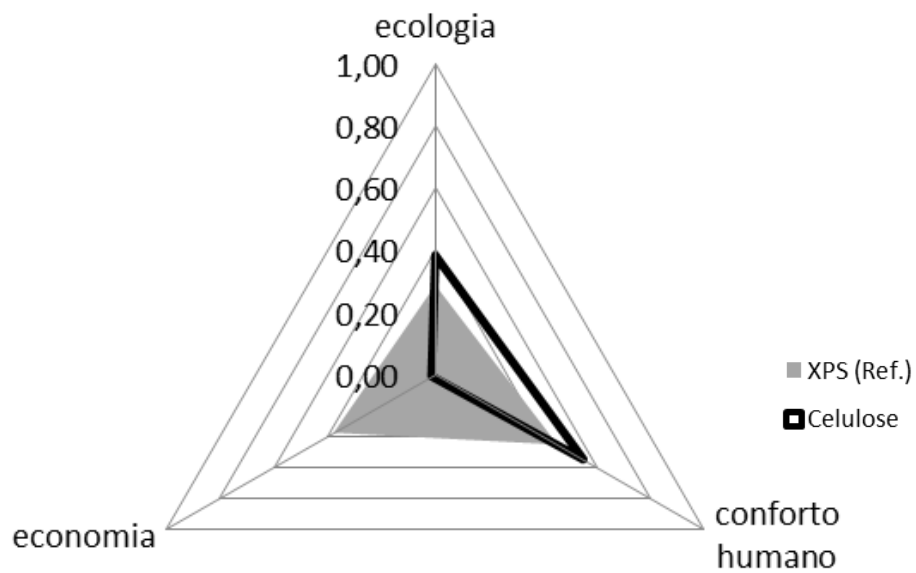


Figura 72: Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Celulose.  
(Fonte própria)

### 5.3.8. XPS | LÃ DE ROCHA

Classificação geral lã de rocha: 0,91

Classificação geral XPS (Ref.): 1,12

Na classificação geral a lã de rocha obteve uma avaliação comparativa superior ao material de referência (Fig. nº74).

Nos resultados parciais constata-se que este material só obteve classificações inferiores ao de referência nos parâmetros económicos.

No conforto humano a lã de rocha é muito forte, e nos parâmetros de durabilidade, de segurança e de condutividade térmica os seus valores superam o de referência. Porém existe a indicação de possível toxicidade deste material.

Nos parâmetros ecológicos a lã de rocha obteve resultados bons, causa menos gases de efeito estufa, tem um potencial de destruição do ozono e de eutrofização inferior, usa menos recursos abióticos e água, produz menos resíduos sólidos e ainda no transporte/distância ao projeto obteve valores melhores. Nos restantes parâmetros ecológicos os seus valores estão ligeiramente acima dos de referência exceto na flexibilidade/reciclável onde os valores são idênticos. Globalmente a sua avaliação ecológica é muito positiva, sendo o material com melhor classificação ecológica nos resultados parciais.

Pode se concluir que este material é uma boa solução, porquanto encontra a sua maior fraqueza no indicador económico.

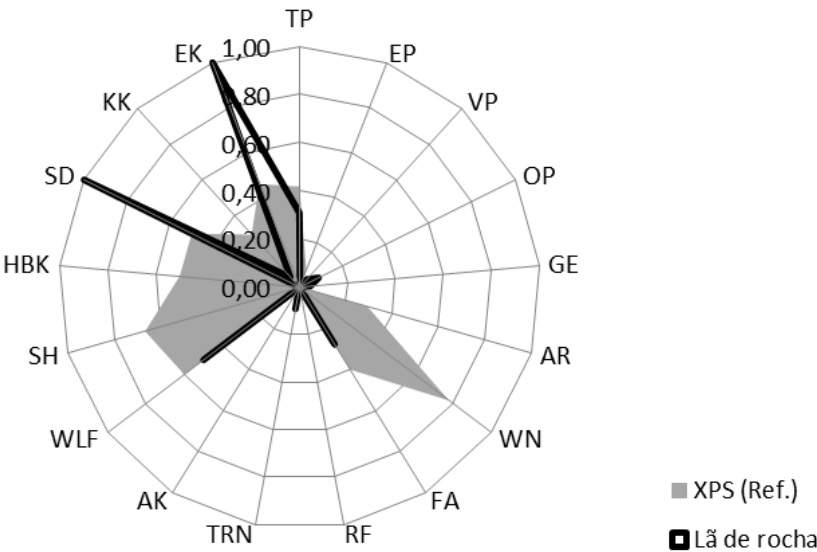


Figura 73: Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Lã de Rocha. (Fonte própria)

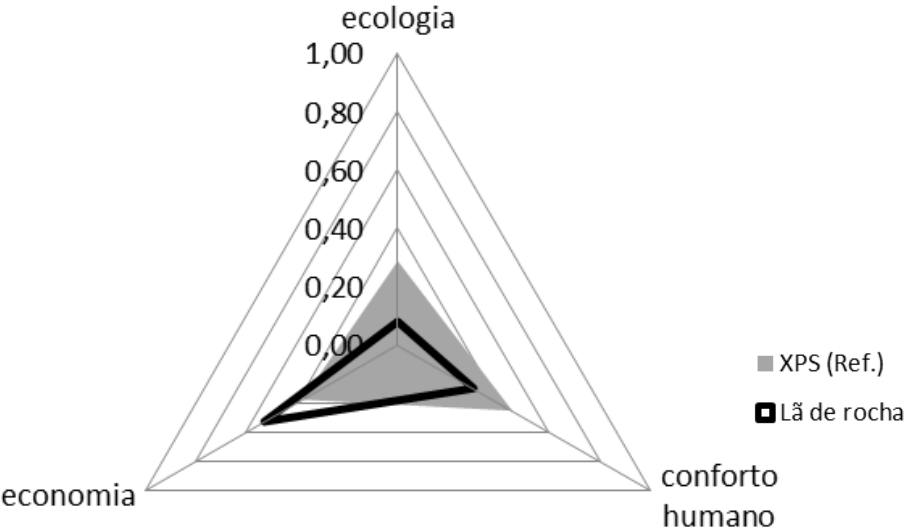


Figura 74: Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Lã de Rocha. (Fonte própria)



### 5.3.9. XPS | ESPUMA DE VIDRO

Classificação geral espuma de vidro: 1,21

Classificação geral XPS (Ref.): 1,12

A espuma de vidro obteve uma classificação geral inferior ao material de referência, no entanto, quando se observam os resultados parciais na figura nº 75, constata-se que este material só obteve classificações inferiores significativas ao de referência nos parâmetros económicos.

No conforto humano a espuma de vidro obteve resultados divididos, por um lado a durabilidade e a segurança são mais favoráveis, enquanto que a condutividade térmica e a toxicidade são mais fracas, e apenas na acústica são iguais.

Os parâmetros ecológicos demonstram que a espuma de vidro produz menos gases de efeito estufa, tem um potencial de eutrofização e de destruição do ozono inferior, usa menos recursos abióticos e água, produz menos resíduos sólidos e ainda é melhor no parâmetro do transporte/distância ao projeto. Nos restantes parâmetros ecológicos os seus valores estão ligeiramente acima aos de referência à exceção da flexibilidade/reciclável onde os valores são idênticos. No global a sua avaliação ecológica é muito positiva.

Economicamente, a espuma de vidro é sempre mais cara do que o material de referência.

Neste caso, pode-se concluir que a utilização de espuma de vidro apesar de estar abaixo do valor de referência pode ser uma solução, porque encontra a sua maior fraqueza no indicador económico.

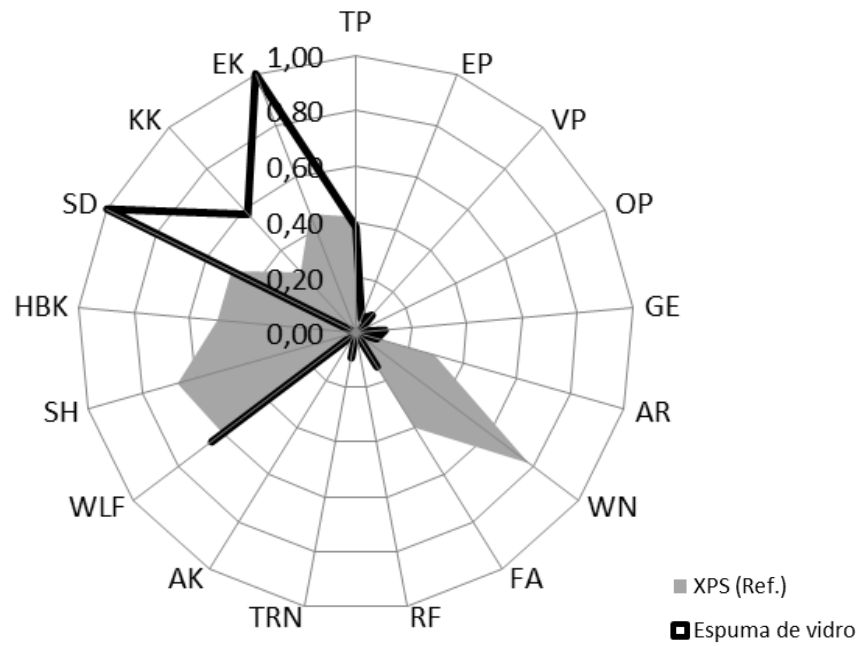


Figura 75: Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Espuma de vidro. (Fonte própria)

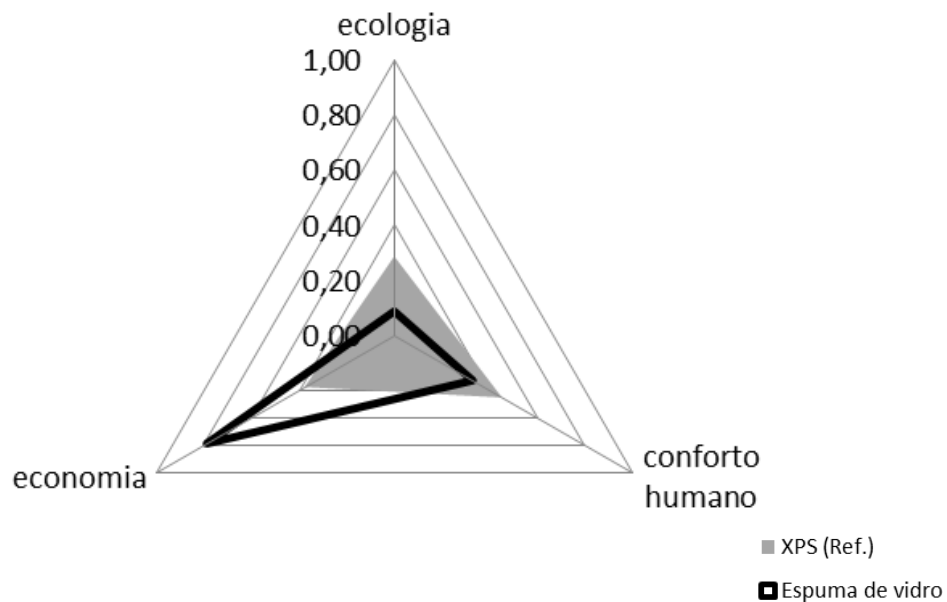


Figura 76: Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Espuma de vidro. (Fonte própria)

### 5.3.10. XPS | SILICATO DE CÁLCIO

Classificação geral silicato de cálcio: 1,32

Classificação geral XPS (Ref.): 1,12

O silicato de cálcio obteve uma classificação geral inferior ao material de referência.

Quando se observam os resultados parciais, figura nº 77, torna-se evidente que os pontos fracos se encontram principalmente na componente económica, porquanto nas vertentes ecológicas e de conforto humano o silicato de cálcio até obteve classificações bastante positivas.

Aliás, no conforto humano o silicato de cálcio é o material com o melhor desempenho, a durabilidade, segurança e toxicidade são muito mais benéficos, a condutividade térmica é um pouco mais fraca e a acústica tem um valor semelhante à do material de referência.

Os parâmetros ecológicos comprovam que o silicato de cálcio produz menos gases de efeito estufa, tem um potencial de eutrofização e de destruição do ozono inferior, usa menos recursos abióticos e água, e ainda é melhor no parâmetro do transporte/distância ao projeto; nos restantes parâmetros ecológicos os seus valores estão ligeiramente acima dos de referência sendo que na flexibilidade/reciclável os valores são idênticos. Globalmente a sua avaliação ecológica é positiva.

Economicamente, o silicato de cálcio é mais caro do que o material de referência.

Neste caso, pode-se concluir que a utilização de silicato de cálcio apesar de estar abaixo do valor de referência pode ser considerada, uma vez que encontra a sua maior fraqueza no indicador económico.

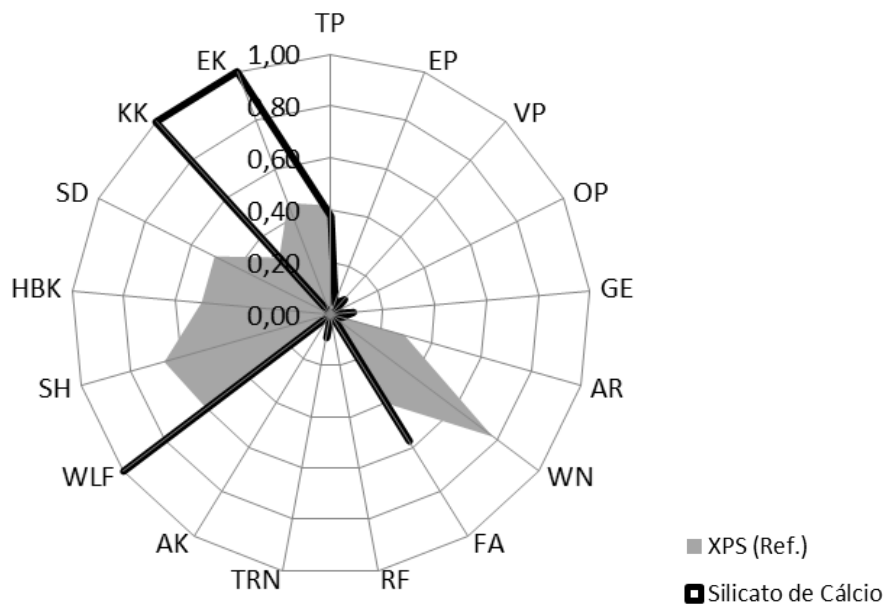


Figura 77: Representação gráfica dos resultados da comparação dos parâmetros XPS/ Silicato de Cálcio. (Fonte própria)

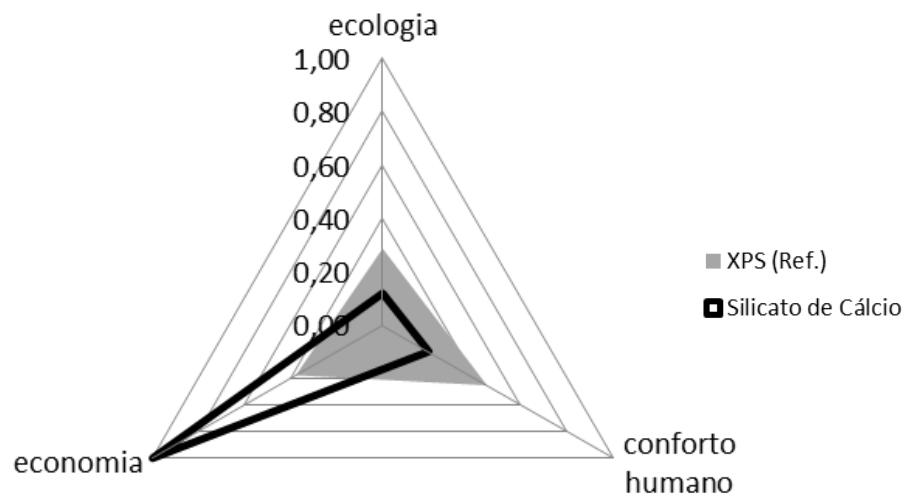


Figura 78: Representação gráfica dos resultados da comparação dos indicadores XPS/ Silicato de Cálcio. (Fonte própria)

#### 5.4. RESULTADOS REPRESENTADOS COM O CIRCOS.

O seguinte gráfico (Fig. nº79) representa os resultados da análise comparativa inicialmente proposta entre os dez materiais de isolamento térmico.

No lado esquerdo da circunferência encontram-se os materiais listados pela sua classificação geral (ver 5.3), encontrando-se o material com melhor classificação em cima. Do lado direito encontram-se as categorias de avaliação (conforto humano, impacto ecológico e económico). Os materiais estão ligados à categoria de avaliação através de uma faixa, que representa através da sua espessura o seu valor de avaliação. Quanto maior a espessura maior o seu impacto negativo, ou seja as faixas mais pequenas são aquelas que são procuradas pelo utilizador, que pretende encontrar o material com o melhor grau de sustentabilidade.

Para além das faixas, o CIRCOS ainda apresenta, numa barra paralela ao circo, as avaliações de cada material por ordem de grandeza, por exemplo: na avaliação do conforto humano encontra-se primeiro uma mancha amarela que corresponde à cortiça, que é o material com a avaliação de conforto humano menos favorável, sendo esta conclusão correspondente aos resultados obtidos nas tabelas de classificação por categoria de avaliação (ver 5.3).

Os materiais têm ainda uma barra paralela ao circo, onde estão plasmadas as suas avaliações por categoria. A título de exemplo demonstra-se que a fibra de madeira (seca) tem como pior categoria o conforto humano, enquanto que o silicato de cálcio tem a categoria económica como a sua principal desvantagem.

É neste sentido que este gráfico se demonstra muito útil à interpretação de dados, porque se consegue retirar e ler todas as relações num gráfico apenas, sem necessitar de tabelas com as classificações gerais, e depois outras com as classificações por categoria e, finalmente o CIRCOS faz a comparação de todos os materiais em análise ao mesmo tempo, em vez de necessitar de um gráfico para cada avaliação.

Trata-se evidentemente de uma leitura não tão intuitiva como a do radar, e daí só se propor esta representação gráfica dos resultados, como referido no 6.3, em casos de aplicação desta ferramenta em áreas especializadas e para utilizadores igualmente versados nestas matérias.

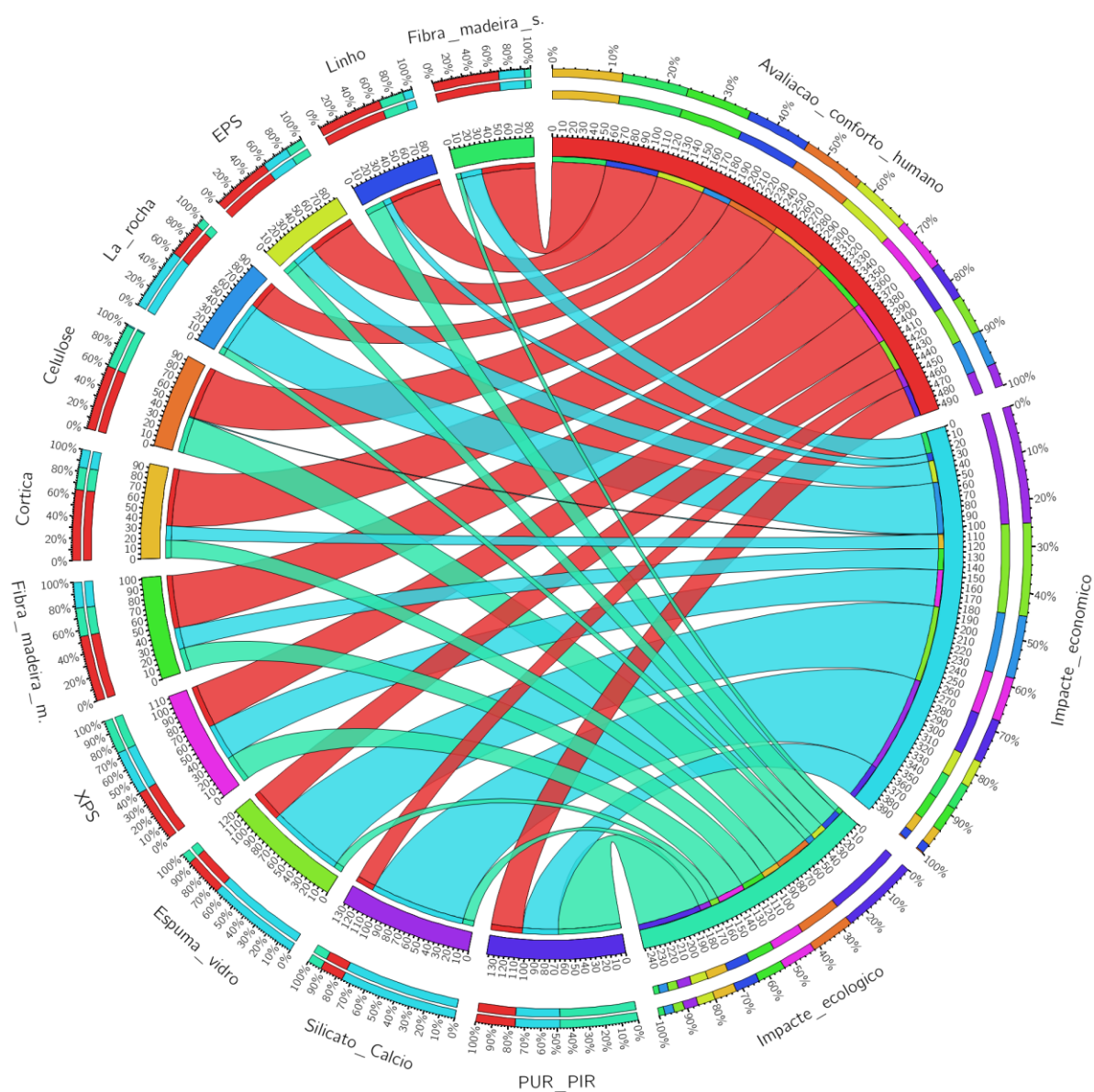


Figura 79: Representação gráfica dos dados através do *software* CIRCOS  
(Fonte: <http://www.circos.ca/>)

## 5.5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O desempenho dos materiais está diretamente relacionado com o desenvolvimento da tecnologia. No futuro, muito provavelmente poder-se-á reciclar mais e melhor em função da evolução tecnológica, e, concomitantemente, os processos de fabricação também serão melhorados. Acresce ainda o facto de, por vezes, as toxicidades e danos para a saúde só serem reconhecidos e identificados bastante mais tarde, o que significa que todos os resultados devem ser analisados no seu contexto e no seu tempo, devendo, por conseguinte, ser considerados temporários.

Verifica-se que os materiais ecologicamente muito bons têm em regra um desempenho de conforto humano mais sensível, principalmente no que diz respeito à condutividade térmica. Neste parâmetro a comparação é feita a partir do valor de  $\lambda$ , e, neste caso, o desempenho do material pode ser melhorado aumentando a sua espessura, para alcançar os mesmos valores de  $U$ . O valor de  $U$  não é utilizado para a comparação, por que este subordina-se a fatores que não dependem diretamente do material, como sejam: a localização no edifício; se está em contacto com o exterior ou com algum espaço climatizado ou não; se está em contacto com o solo; etc.. Consequentemente utiliza-se o  $\lambda$  pois este valor caracteriza o material.

Os materiais que demonstram valores inferiores no desempenho da segurança, ou seja na resistência ao fogo, não conseguem resolver os seus défices tão facilmente como na condutividade, e, uma vez que quase todos os aditivos que melhoram esta característica implicam a incorporação de materiais tóxicos, com consequências para a saúde humana, deve-se evitar a sua inclusão nos materiais ou tentar garantir que o aditivo escolhido não seja prejudicial. No geral pode-se concluir que materiais que necessitam aditivos, ou que são feitos a partir de muitas matérias-primas, devem ser evitados porquanto a probabilidade de conterem substâncias tóxicas é mais elevada.

Materiais que envolvem substâncias tóxicas são de evitar a priori e substituídos por materiais sem carácter duvidoso.

Materiais recentes no mercado podem determinar preços elevados na fase de construção, preços esses que eventualmente irão descer. Este parâmetro é o mais inconstante e dependente dos mercados. Os custos de fim de vida aumentam proporcionalmente ao grau de sinteticidade do material. Quanto mais

sintético for o material, mais caro o é seu depósito e desmantelamento, e, ao invés, quanto mais natural mais económico.

Para a comprovação experimental da ferramenta só foram analisados materiais de isolamento térmico, porquanto o foco da análise é a ferramenta em si e o seu funcionamento e não os materiais. O objetivo foi averiguar se o princípio e a lógica estrutural, assim como os resultados obtidos correspondem às premissas iniciais: avaliar comparativamente o grau de sustentabilidade de materiais de construção e facultar escolhas informadas por parte dos arquitetos.





CAPÍTULO VI | CONCLUSÃO

*"We can not solve our problems with the same level of thinking that created them."*

Albert Einstein

6.1.	Conclusões específicas	239
6.2.	Conclusões gerais	241
6.3.	Perspetivas de desenvolvimento	243

### 6.1. CONCLUSÕES ESPECÍFICAS

A utilização da ferramenta em materiais demonstrou ser eficaz pois os resultados comprovam que ela proporciona um melhor entendimento sobre os diversos impactes dos materiais ao longo dos seus ciclos de vida. A forma de visualização dos resultados facilita ao utilizador distinguir entre a classificação geral e os resultados parciais, permitindo que, num caso específico, se possa decidir se um défice é ou não relevante, ou se é, ou não, facilmente resolvido.

A ferramenta pode ser aplicável numa fase inicial do projeto, no projeto de execução ou ainda no acompanhamento da obra, podendo o utilizador decidir quando é que lhe é mais proveitoso o auxílio da ferramenta.

A flexibilidade e adaptabilidade da ferramenta às variadas situações possíveis são os pontos fortes. O facto de não executar uma rotulagem, permite ao utilizador adaptar os parâmetros que se aplicam ao seu caso específico e informá-lo das características importantes, possibilitando assim uma escolha informada.

Convém ter sempre presente que os resultados são fortemente dependentes da qualidade das fontes dos dados. Este facto pode, em caso extremo, acarretar que o resultado não corresponda à realidade.

Uma fonte de dados ecológicos gratuita e disponível na internet como a *ökobau.dat* ainda não existe em Portugal, e, devido a esta circunstância, optou-se por utilizar esta fonte mesmo não sendo nacional. Não sendo cientificamente a solução ideal, considera-se mais danoso a não inclusão destes parâmetros. Nestes parâmetros estão incluídos o potencial de gases de efeito de estufa, o potencial de eutrofização, potencial de acidificação, potencial de destruição do ozono, a energia incorporada, o consumo de recursos abióticos e de água. O parâmetro de flexibilidade/reciclagem é preenchido a partir de um semáforo desenvolvido para esta investigação, o qual deverá sofrer revisões periódicas para garantir a sua atualização relativa à capacidade tecnológica. O parâmetro Transporte/distância ao projeto está dependente dos tipos de transporte existentes, subsistindo, uma vez mais, a relevância da tecnologia existente. O parâmetro do conteúdo reciclado está dependente de indicação do fornecedor relativa ao seu valor. O facto de não ser claro se um produto tem ou não conteúdos reciclados determinou que, no caso vertente, não tenha sido elaborado um semáforo próprio.

Os parâmetros de conforto humano, como a segurança, são parcialmente indicados por normas, sendo que, neste caso, os dados são válidos para Portugal porquanto se trata de uma norma europeia. A condutividade térmica é definida numa publicação nacional, o ITE 50. Para o parâmetro da acústica e da toxicidade foram elaborados semáforos através uma investigação bibliográfica, e, tal como todos os outros parâmetros, estes devem ser alvo de revisão periódica para se manterem atualizados. Relativamente ao parâmetro da durabilidade foi efetuado um resumo de uma tabela publicada pela BBSR, organizado por grupos de materiais. Este é outro caso em que, não existindo dados nacionais foi utilizada uma fonte alemã para colmatar a lacuna.

Os parâmetros dos custos foram os mais complicados de elaborar devido à escassez de dados publicamente disponíveis. Para além da carência de dados, constatou-se a falta de padrões para a uniformização dos dados disponíveis.

Uma vez que a ferramenta só se aplicou à escala dos materiais reduziram-se as fases do ciclo de vida aplicáveis. A fase de utilização e manutenção dependem do tipo de construção e não apenas do material. Os dados económicos são difíceis de fixar em tabelas por estarem dependentes das flutuações do mercado, pese embora só se considerarem duas fases do ciclo de vida aplicadas aos materiais. No entanto existe, tanto em Portugal como na Alemanha, literatura sobre os custos de construção adaptada ao quadro nacional, tratando-se de publicações privadas que não estão disponíveis publicamente. Para os dados de desmantelamento/fim de vida foram elaboradas médias, por grupos de materiais, a partir dos dados de várias empresas privadas alemãs.

Os parâmetros económicos são os mais sensíveis pois incorporam muitos fatores que são difíceis de quantificar. Para garantir o padrão de comparação, as unidades não devem diferir entre elas.

As fontes dos dados e a qualidade destes podem influenciar contraproducentemente a qualidade da ferramenta. Acresce ainda o facto de a definição de Sustentabilidade ser, pela sua idiossincrasia, passível de evolucionar, encontrando-se o maior desafio na aplicação prática deste conceito.

Aproximar este tipo de pensamento e de análise à prática da arquitetura é uma evolução considerável, não obstante subsistirem fragilidades nas fontes dos dados.

A extensa gama de materiais de construção e a sua evolução constante determinam que esta ferramenta será inelidivelmente passível de revisão e aperfeiçoamento.

## 6.2. CONCLUSÕES GERAIS

*"O objetivo dos arquitetos e arquitetas é o planeamento criativo, técnico, económico, ambiental e social de edifícios. Isto inclui aconselhamento, apoio e representação do cliente em assuntos relacionados com as questões de planeamento e execução, bem como acompanhar a obra... O arquiteto tem com esta vasta amplitude de tarefas uma grande responsabilidade perante a sociedade. Ele está entre as necessidades e exigências dos clientes e da sociedade. Conciliá-los e encontrar a melhor solução, é o desafio que é colocado aos arquitetos no seu dia a dia..."<sup>12</sup> (tradução própria, Architektenkammer Nordrhein-Westfalen, 2008).*

A evolução da arquitetura e os processos de desenvolvimento associados têm, tal como no passado, que se adaptar às exigências contemporâneas, sendo para tal usadas e testadas várias abordagens diferentes. As exigências decorrentes de uma maior multidisciplinaridade determinam a procura de novos caminhos.

Nesse sentido foram, para o efeito, analisadas as diversas ferramentas existentes, tendo sido evidenciada a aplicabilidade da ferramenta de origem nacional chamada Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade (MARS-SC), e, não obstante esta ter sido concebida originalmente para soluções construtivas, foi concebida uma ferramenta adaptada de uma forma completa e eficiente à escala dos materiais. A aplicabilidade da ferramenta foi demonstrada através da comparação de 10 materiais para isolamento térmico.

<sup>12</sup>ARCHITEKTENKAMMER Nordrhein-Westfalen, *Gesetz über den Schutz der Berufsbezeichnungen*, 2008, pag. 3

→PERGUNTA INICIAL: O projeto de arquitetura pode tirar proveito da utilização deste tipo de ferramenta?

Fica claro que um instrumento deste tipo não substitui o processo de planeamento completo, porquanto a arquitetura requer a atribuição de um valor artístico acrescentado que vai além de mera eficiência e funcionalidade (RAMBOW, 2004). Esta ferramenta pode ser usada ao longo de todo o projeto residindo a sua mais-valia na escolha dos materiais mais sustentáveis. A ferramenta dá uma maior autonomia no sentido de formular escolhas informadas, ou seja, para decidir entre um azulejo e uma pedra natural com o mesmo impacto visual, o arquiteto pode obviar o tempo de consulta a outros especialistas pelo facto de poder utilizar esta ferramenta.

A integração de abordagens e instrumentos ligados a conceitos sustentáveis são da responsabilidade social dos arquitetos. No geral a arquitetura deve providenciar o bem-estar da sociedade, através da promoção de possibilidades que garantam a satisfação dos interesses sociais, culturais e económicas da sociedade.

Ao invés da ferramenta desenvolvida nesta investigação, os instrumentos existentes evidenciaram não serem definitivamente consistentes para responder às exigências colocadas, pese embora a necessidade de constante aperfeiçoamento que decorre do facto de estarem dependentes do conhecimento existente e da qualidade dos dados.

Através de um planeamento inteligente podem-se economizar recursos naturais e melhorar a durabilidade dos edifícios, bem como reduzir os impactes ambientais e assim criar valores a longo prazo. Está-se portanto a contribuir para o desenvolvimento sustentável da nossa sociedade (HEGGER, 2007).

Para se poderem definir estratégias de ação concretas são no entanto necessárias ferramentas que permitam às equipas projetistas identificar impactes e interações de dimensões sociais, económicas e ambientais e introduzi-los no processo criativo.

O facto de adicionar fontes adequadas para a execução das análises é um contributo fundamental desta investigação. Subjacente a esta investigação está o desenvolvimento da consciencialização da Sustentabilidade de uma forma geral e a inclusão, na ferramenta, dos objetivos específicos para a arquitetura avocados pelo conceito de Sustentabilidade.

### 6.3. PERSPETIVAS DE DESENVOLVIMENTO

Como desenvolvimento futuro desta investigação aponta-se a necessidade de atualização do seu conteúdo, não só relativamente às fontes dos dados e às exigências mínimas colocadas aos materiais de construção, mas também no que concerne o fortalecimento da definição do conceito de sustentabilidade. Estas matérias carecem ser revistas, acrescentadas e complementadas regularmente.

Como se pretende elaborar uma ferramenta de análise o mais completa possível poder-se-ão sempre acrescentar parâmetros, tendo sempre em consideração não tornar o sistema demasiado complexo o que dificultaria desta forma a interpretação dos resultados.

Em Portugal, deveria ser desenvolvida uma base de dados como a *ökobau.dat*, para se garantir o acesso a valores adaptados à realidade nacional. A recolha sistemática de dados e a sua compilação poderiam consubstanciar um projeto futuro, no sentido de potenciar as virtualidades da ferramenta.

A indicação de parâmetros de sustentabilidade nos materiais, por via de normativo legal, tornaria a sua comparabilidade indubitavelmente mais fácil.

Poderão ser publicados guias que completem e fundamentem a ferramenta, e, que facultem um maior esclarecimento aos utilizadores sobre o fundamento teórico dos conteúdos, melhorando ainda mais a capacidade de decisão.

A integração desta ferramenta na prática dos projetistas é indubitavelmente um objetivo do seu desenvolvimento.

Desta investigação ressuma o facto de esta ferramenta poder ainda ser aplicada e introduzida noutras áreas que claramente aproveitariam com a sua utilização, mormente com a opção do *software* CIRCOS para a leitura dos resultados.

Ferramentas de checklist (certificação) como aquelas referidas em 3.2.4 (BREEAM, LiderA, DGNB, etc.), podem, no seu parâmetro Materiais, utilizar este tipo de visualização para tornar as classificações dos materiais mais assertivas. Como neste caso os utilizadores são especialistas na área da avaliação de sustentabilidade de edifícios (e/ou bairros), é expectável terem uma aptidão mais elevada no que concerne a interpretação dos gráficos comparativamente à generalidade dos utentes, a quem inicialmente esta ferramenta se destinava.

Esta investigação, pelo progresso que patenteia em várias áreas, designadamente a inclusão de uma Ferramenta de avaliação do grau de sustentabilidade no ato do projeto, bem como o apoio e desenvolvimento de outras ferramentas de certificação, pode considerar-se um contributo para o desenvolvimento dos métodos de avaliação, pelo facto de aportar uma visão holística e suscitar novas e relevantes questões à disciplina de Arquitetura.



---

## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA**, Fernando, *O bom negócio da sustentabilidade*. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 2002. ISBN 8520912664
- ALVES**, José, *A polémica Malthus versus Condorcet reavaliada à luz da transição demográfica*, Textos para discussão Escola Nacional de Ciências Estatísticas, ISSN 1677-7093, Nº 4, Rio de Janeiro, IBGE, 2002.
- AMORIM**, Corticeira Amorim, *Investigação e Desenvolvimento* [Em linha] Mozelos: Amorim [Consult. 30 Jun. 2012] Disponível em WWW:<URL:<http://www.amorim.pt>>.
- ANTUNES**, Pedro, *Evolução do Direito e da política do Ambiente Internacional, comunitário e nacional*; Millenium do Instituto Politécnico de Viseu [em linha], Nº7, 1997 [Consult. 14 Out. 2011] Disponível em WWW:<URL:[http://www.ipv.pt/millenium/ect7\\_pba.htm](http://www.ipv.pt/millenium/ect7_pba.htm)>.,
- ARCHITEKTENKAMMER**, *BKI Baukosten Bauelemente 2012*, Stuttgart, Architektenkammer, 2012. ISBN 978-3-941679-51-1
- ATP** – Associação têxtil e vestuário de Portugal, *Rótulos Ecológicos* [Em linha], Vila Nova de Famalicão: ATP e Citeve [Consult. 12 Nov. 2011] Disponível em WWW:<URL:<http://www.atp.pt/fotos/editor2/Rotulos%20ecologicos.pdf>>.
- ATHOUGUIA**, Ruy, *Permanência do Moderno*, Jornal dos Arquitectos, ISSN: 0870-1504, Nº 229, 2007, pag 28- 35.
- AUGUSTO**, Bernardo, *Pegada Ecológica*, [Em linha] Lisboa: Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008, [Consult. 22 Maio 2011] Disponível em WWW:<URL:[https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/226988/1/aula\\_pegada\\_ecologica\\_21\\_11\\_2008.pdf](https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/226988/1/aula_pegada_ecologica_21_11_2008.pdf)>.
- BALTEIRO**, Luís e ROMERO, Carlos, *In search of a natural systems sustainability index*, [em linha] Madrid: Ecological Economics, Nº 49, 2004, pag 401-405. [Consult. 14 Out. 2011] Disponível em WWW:<URL:[http://www.is.cnpn.embrapa.br/bibliografia/2004\\_In\\_search\\_of\\_a\\_natural\\_systems\\_sustainability\\_index.pdf](http://www.is.cnpn.embrapa.br/bibliografia/2004_In_search_of_a_natural_systems_sustainability_index.pdf)>.

- BAPTISTA**, Marta, *Arquitectura como Instrumento na Construção de uma Imagem do Estado Novo*, Coimbra: FCT da Universidade de Coimbra, 2008. (Tese de Licenciatura)
- BBSR**, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, *Nutzungsdauern von Bauteilen*, [Em linha], Berlin: BBSR, 2011. [Consult. 30 Jun. 2012] Disponível em WWW:<URL:[http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff\\_gebauededaten/BNB\\_Nutzungsdauern\\_von\\_Bauteilen\\_\\_2011-11-03.pdf](http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauededaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen__2011-11-03.pdf)>.
- BENTO**, Vítor, MACHADO, José e NOGUEIRA LEITE, António, *A crise financeira e económica internacional*, [em linha] Lisboa: SciELO - Scientific Electronic Library Online [Consult. 23 Abril 2013] Disponível em WWW:<URL:<http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/ri/n21/n21a11.pdf>>
- BERGE**, Bjorn, *Ecology of Building Materials*, 2a edição, Architectural Press Oxford, United Kingdom, 2009. ISBN: 978-1-85617-537-1
- BRAGANÇA**, Luís e MATEUS, Ricardo, *Sustentabilidade de Soluções construtivas*, [Em linha] Porto: Congresso sobre construção sustentável, actas da Ordem dos Engenheiros, 2006. [Consult. 03 Nov. 2011] Disponível em WWW:<URL:<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/6891>>
- BRAGANÇA**, Luís e MATEUS, Ricardo, *Construção sustentável: o novo paradigma do sector da construção*, Braga, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2011
- BRAUNE**, Anna, KREIßIG, Johannes e SEDLBAUER, Klaus, *The use of EPDs in building assessment- Towards the complete picture*, Portugal SB07 International Congress Sustainable Construction, Materials and Practices – Challenges of the new Millenium, 2007, Amsterdam: Delft University Press, 2007. Pag. 299-304. ISBN 978-1-58603-785-7
- BRUSEKE**, Franz Josef, *O problema do desenvolvimento sustentável*, Papers do NAEA, ISSN: 15169111, Nº013, Belém, 1993. Pag. 4-12
- BUNDESUMWELTAMT**, *Leitfaden zum ökologischen Bauen*, Karlsruhe: Verlag C.F.Müller, 1993. ISBN 978-3-7880-7521-7
- BÜNGER**, Sven, *Schadstoffe in Gebäuden – Überblick über die wichtigsten Problemfelder*, [Em linha] Bonn: 31. Jahresfachtagung der VDSI-

Fachgruppe Hochschulen und wissenschaftliche Institutionen, Technische Universität Hamburg, 2006. [Consult. 10 Jan. 2012] Disponível em WWW:<URL:[http://www.bzr-institut.de/files/pdf/vortraege/ueberblick\\_schadstoffe\\_gebeaude.pdf](http://www.bzr-institut.de/files/pdf/vortraege/ueberblick_schadstoffe_gebeaude.pdf)>.

**CABRAL**, M<sup>a</sup> Inês, *A certificação ambiental de edifícios em Portugal. O caso da reabilitação da arquitectura vernácula em áreas protegidas*, Lisboa: Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa, 2009. (Tese de Doutoramento)

**CAMARGO**, Ana Luísa, *As Dimensões e os Desafios do Desenvolvimento Sustentável: concepções, entraves e implicações à sociedade humana*, Florianópolis: Universidade de Santa Catarina, 2002. (Tese de Mestrado)

**CARVALHO**, Eduardo, *Metodologia do trabalho científico "saber-fazer" da investigação para dissertações e teses*, 2a edição, Lisboa, Lisboa Escolar Editora, 2009. ISBN 978-972-592-244-6

**CASTELO BRANCO**, António, *Contributo para a teorização da sustentabilidade da arquitectura e do planeamento territorial. Proposta para o estudo do território da bacia de drenagem a norte de Abrantes*, Lisboa: Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa, 2009. (Tese de Doutoramento)

**CIB** – Conseil International du Bâtiment, *Agenda 21 on sustainable construction*, Rotterdam, CIB Publication, 1999. ISBN 90-6363-015-8

**COLAÇO**, Luís, *A evolução da Sustentabilidade no ambiente construído. Projeto e materiais dos edifícios*, Porto: Universidade Portucalense, 2008. (Tese de Doutoramento)

**COLE**, Raymond, *Building Environmental Assessment Methods: Clarifying Intentions*, Building and Research and Information [Em linha] Vol. 27, Nº 4-5, 1999, pag. 230-246 [Consult. 11 Março 2012] Disponível em WWW:URL:[http://plippo.com/eco/eco\\_pdf/Cole\\_on\\_building\\_assessment\\_05.pdf](http://plippo.com/eco/eco_pdf/Cole_on_building_assessment_05.pdf)

**CORREIA**, Francisco, *Evolução da Política de Ambiente*, [Em linha] Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2003. [Consult. 18 Nov. 2011] Disponível em WWW:<URL:[https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/728416/1/1\\_Evolucao\\_Ambiente\\_UE.pdf](https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/728416/1/1_Evolucao_Ambiente_UE.pdf)>.

**CRUZ**, Carlos, *Gestão Ambiental*, Porto, Vida Económica, 2009. ISBN 9789727883219

**DESA** - United Nations division for Sustainable development/Department of economic and social Affairs, *CSD Theme Framework and Indicators of Sustainability. Final Draft*. [Em linha] New York: Price Waterhouse Coopers for Division for Sustainable Development, 1999. [Consult. 19 Jun. 2012] Disponível em WWW:<URL:[http://www.aiaccproject.org/resources/ele\\_lib\\_docs/undp\\_susdev\\_indicators.pdf](http://www.aiaccproject.org/resources/ele_lib_docs/undp_susdev_indicators.pdf)>.

**DIN**, Deutsches Institut für Normung, *DIN 4102-1 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*, Berlin, 1998.

**EBERT**, Thilo, EßIG, Natalie e HAUSER, Gerd, *Zertifizierungssysteme für Gebäude*; München, Detail - Green Books, 2010. ISBN 978-3-920034-46-1

**FERNANDES**, Fábio, *Especificações para a Reabilitação Sustentável de Edifícios*, Aveiro: Universidade de Aveiro, 2010. (Tese de Mestrado)

**GASPAR**, Daniel, *Inovação na Arquitectura e Desempenho Ambiental*; Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2009. (Tese de Mestrado)

**GIL**, Luís, *A cortiça como material de construção, Manual Técnico*, Santa Maria de Lamas, APCOR, 2005. ISBN XXXXXXXX

**GONÇALVES**, Orestes e KALBUSCH Andreza, *Critérios de Avaliação de Sustentabilidade Ambiental dos Sistemas Prediais Hidráulicos e Sanitários em Edifícios de Escritórios*, Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, ISSN 0103-9830, BT/PCC/467, pag. 1-33, 2007.

**GONÇALVES**, José, *Peter Zumptor, Um estado de graça entre a tectónica e a poesia*; Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 2009. (Tese de Licenciatura)

**GROBER**, Ulrich, *Der Erfinder der Nachhaltigkeit*, DIE ZEIT [Em linha] Nr. 48, 1999, pag. 98. [Consult. 14 Jan. 2011] Disponível em WWW:<URL:<http://www.agenda21treffpunkt.de/archiv/99/pr/zei4898nachhalt.htm>>

**HEGGER**, Manfred, FUCHS, Matthias, STARK, Thomas e ZEUMER, Martin, *Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden anhand von 20 Beispielprojekten als konkrete Handlungslinie und Arbeitshilfe für Planer*

*Abschlussbericht des Forschungsvorhabens*, [Em linha] Darmstadt: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), 2007. [Consult. 19 Jun. 2012] Disponível em WWW:<URL:[http://www.ee.architektur.tu-darmstadt.de/media/architektur/fachgruppe\\_c/ee/forschung\\_dissertationen\\_4/ordner/071128\\_schlussberic\\_htdbu\\_nachhaltigkeit~1.pdf](http://www.ee.architektur.tu-darmstadt.de/media/architektur/fachgruppe_c/ee/forschung_dissertationen_4/ordner/071128_schlussberic_htdbu_nachhaltigkeit~1.pdf)>.

**HEMPFLING**, Reinhol e **STUBENRAUCH**, Steffen, *Schadstoffe in Gebäuden – Erkennen, bewerten, sanieren, vermeiden*, Taunusstein, Eberhard Blottner Verlag, 1994. ISBN 978-3893670376

**IPCC** - Intergovernmental Panel on Climate Change, *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*, Cambridge, Cambridge University Press, 2007. ISBN 978 0521 88010-7

**ISO**, International Organization for Standardization, *ISO 14040*, 2ª edição, 2006.

**IDDS** - Instituto de Design para Desenvolvimento Sustentável, *Ciclo de Vida de uma embalagem*, [Em linha] São Paulo: IDDS, 2010. [Consult. 30 Jun. 2012] Disponível em WWW:URL:<http://www.embalagensustentavel.com.br>>.

**JOHN**, Vanderley, **PINHO DE OLIVEIRA**, Daniel e **RIBEIRO DE LIMA**, José António, *Levantamento do estado da arte: Selecção de Materiais; Habitação mais sustentável*, [Em linha] São Paulo: Projeto Finep 2386/04, 2007. [Consult. 05 Fev. 2012] Disponível em WWW:URL:<http://www.sindusconsp.com.br/img/meioambiente/18.pdf>>.

**KIBERT**, Charles, *Sustainable Construction Green Building Design and Delivery*, New Jersey, John Wiley and Sons, 2005. ISBN 978-0471661139

**KREAMER**, Maria, *A Contabilidade como Alavanca na Construção do Desenvolvimento Sustentável*, [Em linha] Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, 2007. [Consult. 13 Abril 2011] Disponível em WWW:URL:<http://br.monografias.com/trabalhos/contabilidade/contabilidade.shtml>

**LABRINCHA**, João, *Associação para o Desenvolvimento da Casa do Futuro, Sub Projecto de Isolamento Térmico, 1º Relatório de Progresso*, [Em Linha] Aveiro: AveiroDomus e Universidade do Minho [Consult. 4 Out. 2011] Disponível em WWW:URL:<http://www.aveirodomus.pt/resources/xFiles/scContentDeployer/docs/Doc266.pdf>>.

**LEAL**, Nuno, *Construção Sustentável*, Porto, Universidade Fernando Pessoa, 2006. (Tese de Licenciatura)

**LEEuw**, Bas de, *The World Behind the Product*, Journal of Industrial Ecology, ISSN: 15309290, Vol. 9 N° 1-2, pag. 7-10, 2005.

**LIBERELOTTO**, Diógenes, *Análise do Ciclo de Vida de Edificações Residenciais*, Guimarães: Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2006. (Tese de Mestrado)

**LiderA**, *Principais Princípios do LiderA* [Em linha], Lisboa: LiderA [Consult. 22 Maio 2011] Disponível em WWW:URL:<http://www.lidera.info>>.

**LNEC**, *Informações sobre custos Vol 1 e 2*, Laboratório Nacional de Engenharia \Civil, Lisboa, 2010. ISBN 978-972-49-2160-0

**LOEWE**, Andrea Buchidid, *Alberti e Vitruvius*, Projeções - Revista da Universidade São Francisco, ISSN 0103-7757, Vol. 19/20, pag. 37-46, 2001/2002.

**LOH**, Jonathan e **GOLDFINGER**, Steven, *Relatório Planeta Vivo 2006* [Em linha] Gland: WWF, ZSL e Global Footprint Network, 2006. [Consult. 22 Maio 2011] Disponível em WWW:URL:[http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/LPR2006\\_Portuguese.pdf](http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/LPR2006_Portuguese.pdf)>.

**LNEC**, *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2006. ISBN 978-972-49-2175-4

**LUCAS**, Sandra, *Critérios ambientais na utilização de Materiais de Construção*, Aveiro: Universidade de Aveiro, 2008. (Tese de Mestrado)

**MACEDO**, Filipe, *Qualidades expressivas dos eco-materiais*, Lisboa: Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Lisboa, 2010. (Tese de Mestrado)

**MATEUS**, Ricardo, *Novas tecnologias com vista a sustentabilidade da construção* [Em linha] Braga: RepositoriUM da Universidade do Minho, 2004. [Consult. 04 Out. 2012] Disponível em WWW:URL:<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6891/1/Sustentabilidade%2520de%2520Solu%25C3%25A7%25C3%25B5es%2520Construtivas.pdf>>.

**MATEUS**, Ricardo, *Avaliação da sustentabilidade na construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis*, Braga: Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2009. (Tese de Doutoramento)

**MOLL**, Stephan, **BRINGEZU**, Stefan e **SCHÜTZ**, Helmut, *Resource use in European countries*, [Em linha] Copenhagen: ETC-WMF, 2003. [Consult. 17

Nov. 2011] Disponível em WWW:URL:[http://aclima.net/ACLIMA/BIBLIOTECA.NSF/vnArchivos/04D0F0176B009F20C1256D1D002F867C/\\$file/Resource%20use%20in%20european%20countries.pdf](http://aclima.net/ACLIMA/BIBLIOTECA.NSF/vnArchivos/04D0F0176B009F20C1256D1D002F867C/$file/Resource%20use%20in%20european%20countries.pdf)>.

**PINHEIRO**, Manuel, *Ambiente e Construção Sustentável*, Amadora, Instituto do Ambiente, 2006. ISBN972-8577-32-X

**PINHEIRO**, Manuel, *LiderA - Sistema voluntário para a sustentabilidade dos ambientes construídos*, Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2011. (Versão trabalho)

**QUENTAL**, Luís, *Sustainable development at the local level: an application to the Metropolitan Area of Porto*, Lisboa: Instituto Superior Técnico de Lisboa da Universidade Técnica de Lisboa, 2009. (Tese Doutoramento)

**RAMBOW**, Riklef, *Entwerfen und Kommunikation*, Ausdruck und Gebrauch, Dresdner wissenschaftliche Halbjahreshefte für Architektur Wohnen Umwelt [Em linha], Nº 4, 2004, pag. 103-124. [Consult. 13 Nov. 2012] Disponível em WWW:URL:<http://www.tucottbus.de/theoriederarchitektur/Lehrstuhl/deu/rambow/AUG.pdf>>.

**RAMOS**, Jaqueline, *Construção sustentável: o desafio da eficiência ambiental, social e económica - Entrevista a Vanderley M. John* [Em linha], Rio de Janeiro: Instituto Ecológico Aqualung, 2008. [Consult. 26 Jan. 2012] Disponível em WWW:URL:<http://www.institutoaqualung.com.br/info%2079.pdf>>.

**RAMOS**, Ana Teresa, *Os custos do desenvolvimento sustentável para a engenharia, arquitectura e construção nos processos de reabilitação*, Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2009. (Tese de Doutoramento)

**REFFAT**, Rabee, *Sustainable Development of Buildings and Environment*; Second International Conference on Development and Environment [Em linha] Egipto: Assiut University, 2004 [Consult. 13 Dez. 2011] Disponível em WWW:URL:[http://www.faculty.kfupm.edu.sa/ARCH/rabee/publications\\_files/04Reffat\\_DevelopmentEnvironmentII2004\\_Assiut.pdf](http://www.faculty.kfupm.edu.sa/ARCH/rabee/publications_files/04Reffat_DevelopmentEnvironmentII2004_Assiut.pdf)>.

**RIBEIRO**, Jorge, *Formulação de Índices quantitativos com base na discriminação baricêntrica*, Lisboa, Instituto Superior Técnico, 1999.

**RING**, Irene, HANSJÜRGENS, Bernd, ELMQUIST, Thomas, WITTMER, Heidi e SUKHDEV, Pavan, *Challenges in framing the economics of ecosystems*

*and biodiversity: the TEEB initiative*, ScienceDirect [em linha] Current Opinion in Environmental Sustainability (in press) N° 2, 2010, pag. 15-26

[Consult. 13 Dez. 2011] Disponível em

WWW:URL:[http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F222397206\\_Challenges\\_in\\_framing\\_the\\_economics\\_of\\_ecosystems\\_and\\_biodiversity\\_the\\_TEEB\\_initiative%2Ffile%2F9fcfd50881b020e1b9.pdf&ei=rzKAUbY5wtfsBsuygNgG&usg=AFQjCNFYBQ6-rIXaYzqqQv6Q8asWkaHtfw&sig2=k4AFe-RxgoCNgH-X3bSIQA&bvm=bv.45645796,d.ZGU&cad=rja](http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F222397206_Challenges_in_framing_the_economics_of_ecosystems_and_biodiversity_the_TEEB_initiative%2Ffile%2F9fcfd50881b020e1b9.pdf&ei=rzKAUbY5wtfsBsuygNgG&usg=AFQjCNFYBQ6-rIXaYzqqQv6Q8asWkaHtfw&sig2=k4AFe-RxgoCNgH-X3bSIQA&bvm=bv.45645796,d.ZGU&cad=rja).

**ROODMAN**, David e Lenssen, Nicholas, *A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns are Transforming Construction*, Worldwatch Paper 124, Washington, Worldwatch Institute, 1995. ISBN: 1-878071-25-4

**SCHMIDT**, Luísa, *Ambiente e Políticas Ambientais: escalas e desajustes*. Em Itinerários: A Investigação nos 25 Anos do ICS, pag. 285-314. Villaverde, M. et al.. Lisboa, Imprensa de Ciências Sociais, 2008. ISBN 9789726712244

**SILVA**, Vanessa, *Indicadores de sustentabilidade de Edifícios: estado da arte e desafios para desenvolvimento no Brasil*, Ambiente Construído [em linha] Vol. 7, N° 1, 2007, pag. 47-66 [Consult. 17 Maio 2012] Disponível em WWW:URL:<http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fseer.ufrgs.br%2Fambienteconstruido%2Farticle%2Fdownload%2F3728%2F2080&ei=xdyDUayECqSh7AbOjoHgCw&usg=AFQjCNGrHmxtGTC1F4HC60YFF2T89xz8cA&sig2=7qfVW01bJu8morMgPh-mbQ&bvm=bv.45960087,d.ZGU&cad=rja>. ISSN 1415-8876

**SOMMER**, Adolf, *Passivhäuser: Planung - Konstruktion - Details – Beispiele*, Erkelenz, Verlagsges. Müller, 2011. ISBN 9783481027162

**STEC**, Barbara, *Conversas com Peter Zumthor*, Casabella, N° 719, 2004. Pag. 6-13.

**TEIXEIRA**, Pedro, *Monitorização da Implementação das Diretivas Comunitárias sobre a Utilização de Fontes Renováveis de Energia em Portugal*, [Em linha] Dissertação de Mestrado Integrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010. [Consult. 21 Maio. 2011] Disponível em



WWW:URL:<http://www.repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58144/1/000143461.pdf>.

**TIRONE**, Livia, Nunes, Ken, *Construção sustentável. Soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã*, Sintra, Construção sustentável, 2007. ISBN: 9789892008837

**TORGAL**, Fernando e Jalali, Said, *A sustentabilidade dos materiais de construção*, 2ª edição, Braga, Universidade do Minho, 2011. ISBN 978-972-8600-22-8

**TORGAL**, Fernando e Jalali, Said, *Construção sustentável. O caso dos materiais de construção*, [Em linha] Congresso Construção 2007: Universidade do Minho, 2011. [Consult. 10 Jan. 2012] Disponível em WWW:<URL:<http://www.repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7542/1/Artigo%25204.pdf>>.

**UE**- União Europeia, *Para uma estratégia temática sobre o ambiente urbano*. [Em linha] Comunicação da Comissão de Conselho, ao Parlamento Europeu e ao Comité das Regiões: EU, Bruxelas, 2004. [Consult. 2 Abril. 2011] Disponível em WWW:<URL:[http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/pt/com/2004/com2004\\_0060pt01.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/pt/com/2004/com2004_0060pt01.pdf)>

**UNEP**, Ahlenius, Hugo, *Climate Change scenarios for desert areas*. [Em linha] UNEP/GROD: Arendal Maps and Grafcs Libary, 2006. [Consult. 23 Abril. 2013] Disponível em WWW:URL:[http://www.grida.no/graphicslib/detail/climate-change-scenarios-for-desert-areas-by-2050\\_749b#](http://www.grida.no/graphicslib/detail/climate-change-scenarios-for-desert-areas-by-2050_749b#).

**USGS**, *Mineral Commodity Summaries*, [Em linha] Washington, DC: US Department of the Interior and US Geological Survey, 2012. [Consult. 03 Nov. 2012] Disponível em WWW:URL:<http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcs2012.pdf>.

**VALENTE**, Josie, *Certificações na construção civil: comparação entre LEED e HQE*, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009. (Tese de Licenciatura)

**VANEGAS**, Jorge, DuBOSE, Jennifer e PAERCE, Anne, *Sustainable technologies for the building construction industry*, Proceedings of the Symposium on Design for the Global Environment, Atlanta, GA, Nov. 2-3, 1995.

**VEIGA**, Maria do Rosário, TAVARES, Martha e MAGALHÃES Ana, *Restauo da fachada em marmorite de cal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil*,

*em Lisboa. Materiais, métodos e resultados*, [Em linha] Lisboa, VII SBTA, Seminário [Consult. 09 Fev. 2011] Disponível em WWW:<URL:http://conservarcal.Inec.pt/pdfs/SBTA\_RVMTAC\_FINAL.pdf>.

**VERÍSSIMO**, Cristina, *O tempo e os materiais da arquitectura*; Jornal dos Arquitectos, ISSN: 0870-1504, Nº 229, 2007. Pag. 36-37.

**WECOBIS**, *Base de dados* [Em linha] Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung atualizada em 2012. [Consult. 30 Jun. 2012] Disponível em WWW:<URL:http://www.wecobis.de>.

**WEIß**, Rolf-Günter e PAPROTH, Olaf, *Leitfaden ökologische Dämmstoffe* [Em linha] NABU Bundesverband: Bonn, 2001. [Consult. 30 Jun. 2012] Disponível em WWW:<URL:http://www.nabu.de/downloads/studien/leitfadendaemm.pdf>.

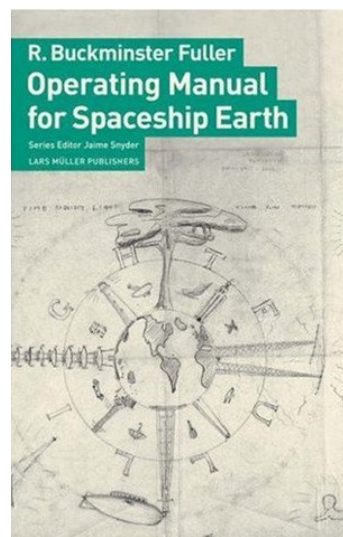
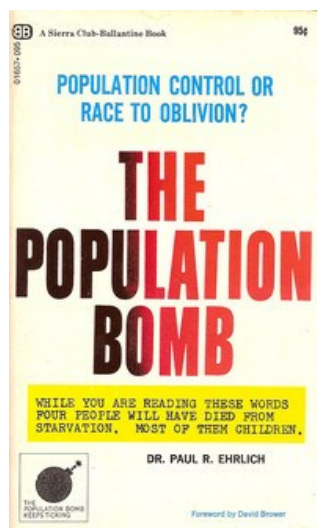
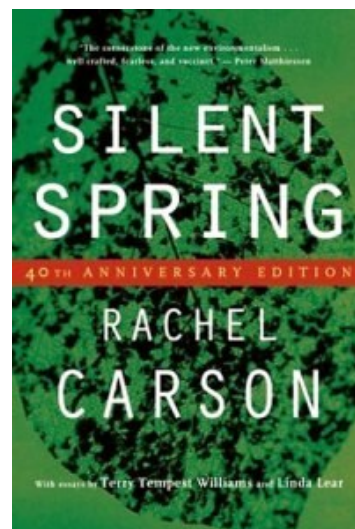
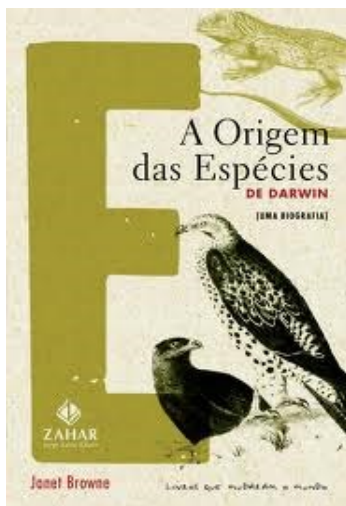
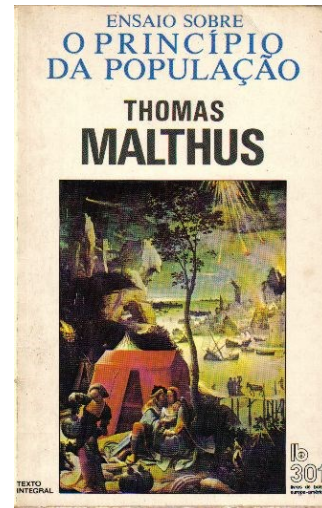
**WESTON**, Richard, *Materials, form and Architecture*, New Haven, Yale University Press, 2003. ISBN: 9780300095791

**WIENER**, Norbert, *Cibernética e sociedade: o uso humano de seres humanos*, São Paulo, Cultrix, 1968. ISBN: 8853160047

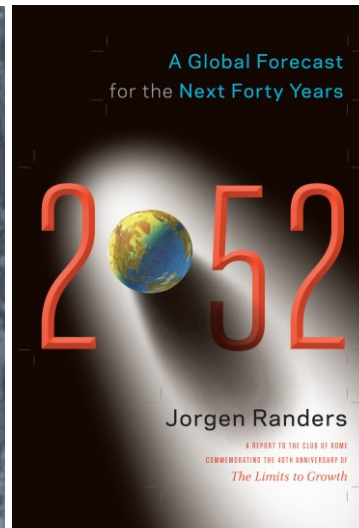
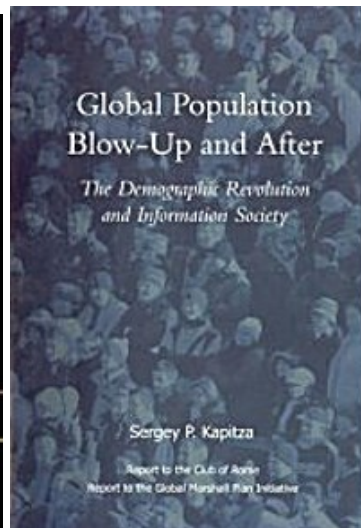
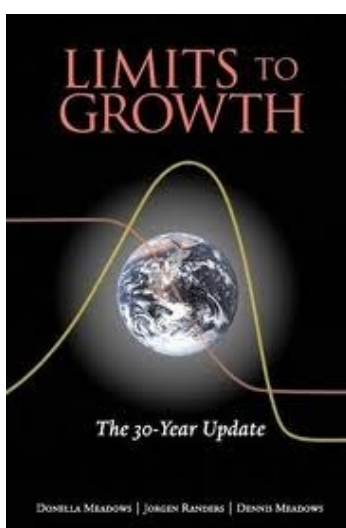
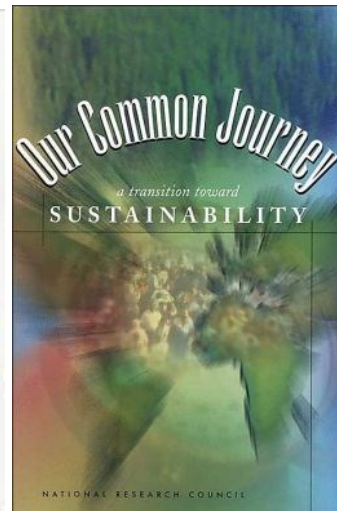
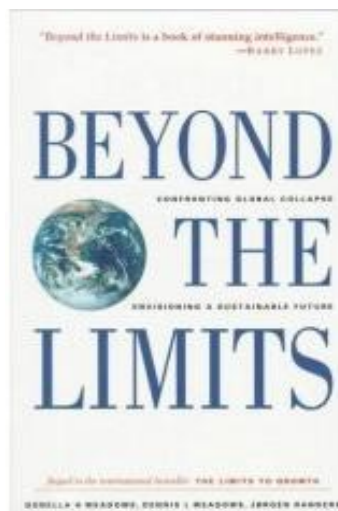
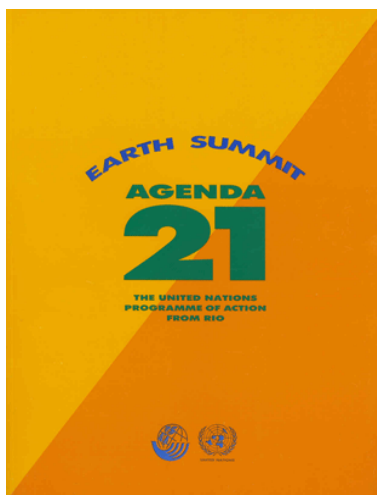
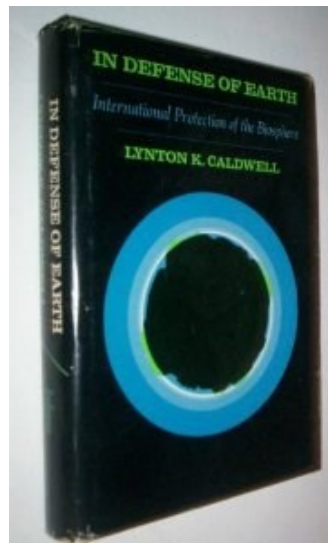
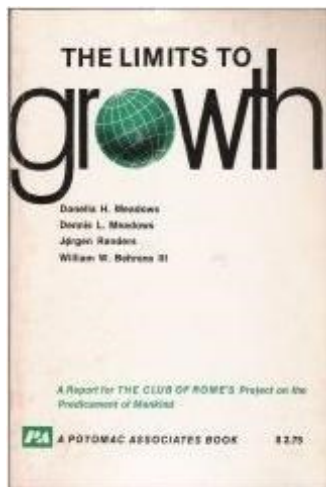
**ZWIENER**, Gerd, *Handbuch Gebäudeschadstoffe für Architekten, Sachverständige und Behörden*, Köln, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, 1997. ISBN 10: 3481011768

## ANEXO I

Capas das obras mais significativas para a consciencialização ambiental:

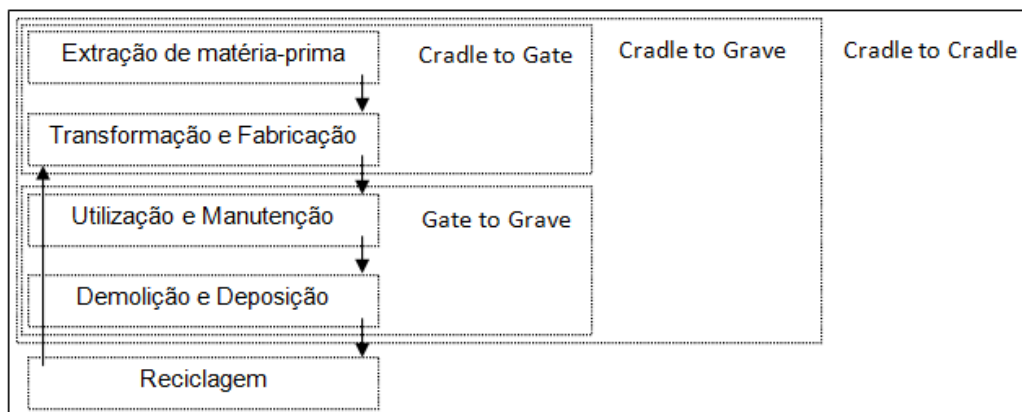






## ANEXO II

Esquematização de ciclo de vida com definição dos vários conceitos dentro do ciclo de vida:



## ANEXO III

Critérios de avaliação das ferramentas Checklist/ certificação.

Critérios de avaliação do SBTool:

A	Localização, projecto e desenvolvimento		
A1	Localização		
	A1.1	Valor e impacto ambiental (áreas sensíveis)	Desencorajar a utilização de zonas vulneráveis
	A1.2	Valor para a agricultura (áreas cultiváveis)	
	A1.3	Vulnerabilidade a inundações	
	A1.4	Potencialidade para contaminar lençóis de água	
	A1.5	Estado prévio de contaminação do solo	Encorajar a utilização de transportes públicos e deslocações a pé
	A1.6	Proximidade de transportes públicos	
	A1.7	Distância até zonas de emprego ou ocupação residencial	
	A1.8	Proximidade de zonas comerciais e culturais	
	A1.9	Proximidade de zonas de lazer e recreação	
A2	Projecto		
	A2.1	Uso de recursos renováveis	Encorajar
	A2.2	Uso de um Sistema Integrado de projecto	
	A2.3	Análise do impacto ambiental	Garantir a utilização e existência
	A2.4	Existência de um sistema de gestão de águas superficiais	
	A2.5	Disponibilidade de sistema de tratamento de água	
	A2.6	Disponibilidade de sistemas de abastecimento separados para água potável/cinza	
	A2.7	Recolha e reciclagem de resíduos sólidos	
	A2.8	Compostagem e reutilização de lamas residuais	
	A2.9	Orientação que maximize o potencial solar passivo	
A3	Planeamento urbano		
	A3.1	Densidade	Encorajar o crescimento ordenado e deslocações a pé
	A3.2	Existência de múltiplas tipologias de ocupação	
	A3.3	Encorajar deslocações a pé	
	A3.4	Estruturas para utilização de bicicleta	
	A3.5	Uso de veículos privados	Desencorajar
	A3.6	Existência de espaços verdes	Encorajar a utilização e manutenção
	A3.7	Uso de vegetação nativa	
	A3.8	Uso de árvores com potencial de sombreamento	
	A3.9	Desenvolver ou manter zonas com presença de vida selvagem	

B	Energia e consumo de recursos		
B1	Ciclo de vida e energias não renováveis		
	B1.1	Energia primária não renovável dos materiais de construção	Minimizar
	B1.2	Energia primária não renovável para utilização	
B2	Máximo consumo eléctrico para utilização		
B3	Energias renováveis		
	B3.1	Uso de energias provenientes de recursos renováveis	Encorajar
	B3.2	Previsão de sistemas de energia renováveis	
B4	Materiais		
	B4.1	Reutilização de estruturas existentes	Encorajar a redução do consumo de energia e de emissões de gases com efeito estufa
	B4.2	Uso mínimo de materiais não-renováveis/utilizáveis	
	B4.3	Uso mínimo de materiais novos	
	B4.4	Uso de materiais duráveis	
	B4.5	Reutilização de materiais existentes	
	B4.6	Uso de materiais reciclados de fontes externas	
	B4.7	Uso de bio-materiais obtidos em fontes sustentáveis	
	B4.8	Uso de materiais que substituam o cimento no betão	
	B4.9	Uso de materiais produzidos localmente	
	B4.10	Prever desmontagem, reutilização e reciclagem	
B5	Água potável		
	B5.1	Uso de água potável para irrigação	Desencorajar
	B5.2	Uso de água potável para as necessidades de ocupação	Minimizar
	B5.3	N.A.	

C	Cargas ambientais		
C1	Emissão de gases com efeito estufa		
	C1.1	Emissões anuais devido aos materiais de construção - CO <sup>2</sup>	Minimizar emissões provenientes de extração, fab. transp. e utiliz.
	C1.2	Emissões anuais provenientes da energia necessária à utilização - CO <sup>2</sup>	
	C1.3	N.A.	
C2	Outras emissões atmosféricas		
	C2.1	Emissões de gases com efeito estufa (CF-11) devido a utilização	Minimizar as emissões
	C2.2	Emissões de gases ácidos devido a utilização (SO <sup>2</sup> )	
	C2.3	Emissões de gases foto-oxidantes devido a utilização	
C3	Resíduos sólidos		
	C3.1	Resíduos resultantes dos processos de construção e demolição	Minimizar e encorajar a coleta e tratamento
	C3.2	Resíduos resultantes da utilização	
C4	Água da chuva e águas residuais		
	C4.1	Geração de efluentes líquidos decorrentes da utilização	Minimizar
	C4.2	Recolha de água da chuva para reutilização	Encorajar
	C4.3	Água da chuva não recolhida	Minimizar
	C4.4	N.A.	
C5	Impacto da localização		
	C5.1	Impacto do processo de construção nas características naturais do local	Minimizar
	C5.2	Impacto do processo de construção no solo (erosão)	Assegurar que não acontece
	C5.3	Alterações da biodiversidade local	
	C5.4	Condições de ventilação adversas devido a volumetria	
	C5.5	Descargas de resíduos tóxicos no local	
C6	Outros impactos locais e regionais		
	C6.1	Impacto no acesso à luz do dia ou energia solar dos edifícios adjacentes	Assegurar que não acontece
	C6.2	Alterações térmicas em massas de águas ou lençóis freáticos	
	C6.3	Efeito "ilha de calor" - áreas pavimentadas	
	C6.4	Efeito "ilha de calor" - coberturas	
	C6.5	Poluição do ar	
	C6.6	N.A.	

D	Qualidade do ambiente interior		
D1	Qualidade do ar interior		
	D1.1	Protecção de materiais durante a fase de construção	Assegurar as actividades e a remoção dos poluentes
	D1.2	Remoção, antes da ocupação, de poluentes emitidos pelos materiais utilizados para acabamento interior	
	D1.3	Remoção de gases poluentes produzidos pelos materiais de acabamento interior	
	D1.4	Separação de espaços onde se produzam poluentes devido a actividade desenvolvida	
	D1.5	Poluentes gerados na manutenção dos edificios	
	D1.6	Poluentes gerados em actividades durante a ocupação	
	D1.7	Concentração de CO <sup>2</sup> no ar interior	
	D1.8	Instalação de sistemas de monitorização da qualidade do ar interior	
D2	Ventilação		
	D2.1	Ventilação natural efectiva e adequada ao espaço ocupado	Encorajar e garantir os níveis de conforto adequados
	D2.2	Ventilação mecânica que garanta a qualidade do ar interior e da ventilação	
	D2.3	Movimento do ar em espaços ventilados mecanicamente	
	D2.4	Eficiência da ventilação em espaços ventilados mecanicamente (edifícios não residenciais)	
D3	Temperatura do ar e humidade relativa		
	D3.1	Temperatura do ar e humidade relativa em espaços arrefecidos mecanicamente	
	D3.2	Temperatura do ar em espaços com ventilação natural	
D4	Luz natural e iluminação		
	D4.1	Iluminação natural nos principais espaços ocupados	
	D4.2	Luminosidade em zonas de ocupação não residencial	
	D4.3	Níveis e qualidade da iluminação	
D5	Ruído e acústica		
	D5.1	Atenuação do ruído através da envolvente exterior	Encorajar e garantir os níveis de conforto adequados
	D5.2	Transmissão dos ruídos dos equipamentos aos principais espaços ocupados	
	D5.3	Atenuação do ruído entre espaços ocupados	
	D5.4	Desempenho acústico dos principais espaços ocupados	
D6	N.A.		



E	Qualidade do serviço		
E1	Segurança durante o funcionamento		
	E1.1	N.A.	
	E1...	N.A.	
	E1.6	Manutenção das funções principais do edifício durante interrupções do fornecimento de energia	Assegurar
	E1.8	N.A.	
E2	Funcionalidade e eficiência		
	E2.1	N.A.	
	E2...	N.A.	
	E2.5	Eficiência espacial	Uso eficiente dos espaços
	E2.6	Eficiência volumétrica	
E3	Controlabilidade		
	E3.1	Disponibilidade de um sistema de gestão e controlo eficiente	Garantir a disponibilidade e utilização a níveis elevados
	E3.2	Capacidade de operação parcial do sistema técnico	
	E3.3	Grau de controlo sobre os sistemas de iluminação em espaços não residenciais	
	E3.4	Grau de controlo pelos utentes dos sistemas técnicos	
E4	Flexibilidade e adaptabilidade		
	E4.1	Possibilidade de modificação dos sistemas técnicos	Garantir a capacidade de adaptação a novos usos
	E4.2	Adaptabilidade aos constrangimentos impostos pela estrutura	
	E4.3	Adaptabilidade aos constrangimentos impostos pela altura de piso a piso	
	E4.4	Adaptabilidade aos constrangimentos impostos pela envolvente do edifício e sistemas técnicos	
	E4.5	Adaptabilidade a alterações da fonte de energia	
E5	Participação dos projectistas na definição dos sistemas com funções críticas		Garantir
E6	Manutenção do desempenho na utilização		
	E6.1	Manutenção do desempenho da envolvente	Garantir que são realizados
	E6.2	Utilização de materiais duráveis	
	E6.3	Desenvolvimento e implementação de planos de manutenção	
	E6.4	Monitorização e verificação do desempenho	
	E6.5	Arquivo do projecto e documentos do edifício	
	E6.6	Disponibilidade e manutenção da memória descritiva	
	E6.7	Indicações de utilização para maximizar o desempenho	
	E6.8	Habilidades e conhecimento do pessoal da manutenção	

F	Aspectos sociais e económicos		
F1	Aspectos sociais		
	F1.1	Minimização dos acidentes de trabalho	Assegurar que existe
	F1.2	Acessibilidade de deficientes	
	F1.3	Acessibilidade à luz solar nos espaços de convívio das habitações	
	F1.4	Acesso a espaços abertos privativos nas habitações	
	F1.5	Privacidade visual do exterior nos espaços principais da habitação	
	F1.6	Acesso à vistas exteriores dos espaços de trabalho	
	F1.7	Utilidade social das principais funções do edifício	
F2	Custos e economia		
	F2.1	Minimizar o custo do ciclo de vida	Minimizar
	F2.2	Minimizar o custo de construção	
	F2.3	Minimizar os custos de utilização e manutenção	
	F2.4	Custos associados ao aluguer ou compra de habitações	
	F2.5	Apoio à economia local	Encorajar
	F2.6	N.A.	

G	Aspectos culturais		
G1	Cultura e património		
	G1.1	Relacionamento entre o edifício e a estrutura urbana existente	Assegurar que existe
	G1.2	Compatibilidade entre o planeamento urbano e os valores culturais locais	
	G1.3	Manutenção do valor do património existente	
G2	N.A.		
	G2.1	N.A.	
	G2.2	N.A.	
	G2.3	N.A.	

Critérios de avaliação do LiderA:

VERTENTES	ÁREA	Wi	Pre-Req.	CRITÉRIO	N°C
INTEGRAÇÃO LOCAL	SOLO	7%	S	Valorização Territorial	C1
				Optimização ambiental da implantação	C2
	ECOSSISTEMAS NATURAIS	5%	S	Valorização ecológica	C3
				Interligação de habitats	C4
6 Critérios	PAISAGEM E PATRIMÓNIO	2%	S	Integração Paisagística Local	C5
14%				Protecção e Valorização do Património	C6

VERTENTES	ÁREA	Wi	Pre-Req.	CRITÉRIO	N°C
RECURSOS	ENERGIA	17%	S	Certificação Energética	C7
				Desenho Passivo	C8
				Intensidade em Carbono (e eficiência energética)	C9
	ÁGUA	8%	S	Consumo de água potável	C10
				Gestão das águas locais	C11
	MATERIAIS	5%	S	Durabilidade	C12
				Materiais locais	C13
				Materiais de baixo impacte	C14
9 Critérios					
32%	ALIMENTARES	2%	S	Produção local de alimentos	C15

VERTENTES	ÁREA	Wi	Pre-Req.	CRITÉRIO	N°C
CARGAS AMBIENTAIS	EFLUENTES	3%	S	Tratamento das águas residuais	C16
				Caudal de reutilização de águas usadas	C17
	EMISSIONES ATMOSFÉRICAS	2%	S	Caudal de Emissões Atmosféricas - Partículas e/ou Substâncias com potencial acidificante (Emissão de outros poluentes: SO <sub>2</sub> e NO <sub>x</sub> )	C18
	RESÍDUOS	3%	S	Produção de resíduos	C19
				Gestão de resíduos perigosos	C20
				Reciclagem de resíduos	C21
8 Critérios	RUÍDO EXTERIOR	3%	S	Fontes de ruído para o exterior	C22
12%	POLUIÇÃO ILUMINO-TÉRMICA	1%	S	Efeitos térmicos (ilha de calor) e luminosos	C23

VERTENTES	ÁREA	Wi	Pre-Req.	CRITÉRIO	N°C
CONFORTO AMBIENTAL	QUALIDADE DO AR	5%	S	Níveis de Qualidade do ar	C24
	CONFORTO TÉRMICO	5%	S	Conforto térmico	C25
4 Critérios	ILUMINAÇÃO E ACÚSTICA	5%	S	Níveis de iluminação	C26
15%			S	Isolamento acústico/Níveis sonoros	C27

VERTENTES	ÁREA	Wi	Pre-Req.	CRITÉRIO	N°C
VIVÊNCIA SÓCIO-ECONÓMICA	ACESSO PARA TODOS	5%	S	Acesso aos transportes Públicos	C28
				Mobilidade de baixo impacte	C29
				Soluções inclusivas	C30
	CUSTOS NO CICLO DE VIDA	2%	S	Baixos custos no ciclo de vida	C31
	DIVERSIDADE ECONÓMICA	4%	S	Flexibilidade - Adaptabilidade aos usos	C32
				Dinâmica Económica	C33
				Trabalho Local	C34
	AMENIDADES E INTERACÇÃO SOCIAL	4%	S	Amenidades locais	C35
				Interacção com a comunidade	C36
	PARTICIPAÇÃO E CONTROLO	4%	S	Capacidade de Controlo	C37
				Governância e Participação	C38
13 Critérios				Controlo dos riscos naturais - (Safety)	C39
19%				Controlo das ameaças humanas - (Security)	C40

VERTENTES	ÁREA	Wi	Pre-Req.	CRITÉRIO	N°C
GESTÃO AMBIENTAL E INOVAÇÃO	GESTÃO AMBIENTAL	6%	S	Condições de utilização ambiental	C41
3 Critérios				Sistema de gestão ambiental	C42
8%	INOVAÇÃO	2%		Inovações	C43

### Critérios de avaliação do CASBEE:

Grupo		Critério	Subcritério
Qualidade ambiental e desempenho do edifício	Ambiente interior	Ruído e acústica	Barulho, isolamento acústico, absorção sonora
		Conforto térmico	Controlo da temperatura ambiente, controlo da humidade, tipo de sistema do ar condicionado
		Luz e iluminação	Luz natural, medidas anti-encadeamento, níveis de iluminação, capacidade de controlo da iluminação
		Qualidade do ar	Controlo das fontes, ventilação, plano de serviço
	Qualidade em serviço	Aptidão em serviço	Funcionalidade e usabilidade, conforto
		Durabilidade	Resistência aos tremores de terra, manutenção/actualização diária, limite de carga do piso
		Viabilidade e adaptabilidade	Adaptabilidade das instalações
	Ambiente exterior no local	Manutenção e criação do ecossistema	-
		Paisagem urbana e ecológica	-
		Características locais e cultura	-
Redução das cargas ambientais do edifício	Energia	Carga térmica do edifício	Orientação do edifício, cargas térmicas das janelas, níveis de isolamento das paredes exteriores e telhado
		Utilização da energia natural	Utilização directa da energia natural, utilização indirecta
		Eficiência no sistema do edifício	Sistema HVAC, sistema de ventilação, sistema de iluminação, sistema de aquecimento de água, sistema de elevadores
		Eficiência em serviço	Monitorização, gestão do sistema operacional
	Recursos e materiais	Recursos de água	Poupança de água, utilização da água da chuva e das águas cinzentas
		Eco-materiais	Uso de materiais reciclados, uso de madeira e materiais naturais, uso de materiais perigosos, reutilização do "esqueleto" do edifício, etc., eliminação de resíduos, prevenção de CFCs e halogéneos
	Ambiente exterior fora das fronteiras	Poluição do ar	Emissão de poluentes do ar, emissão de poluentes da água, emissão de poluentes dos solos
		Odores e ruídos desagradáveis	Geração de ruídos e odores desagradáveis
		Danos do vento	-
		Danos na iluminação	-
		Efeito de ilha de calor	-
		Sobrecarga da infra-estrutura local	Sobrecarga do sistema de tratamentos de esgotos, sobrecarga do sistema de gestão de tráfego, sobrecarga do sistema de gestão de resíduos

## Critérios de avaliação do BREEAM:

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
Gestão	Política global, procedimentos processuais e de comissionamento
Consumo energia	Energia operacional e geração de CO <sub>2</sub>
Saúde e bem-estar	Aspectos do interior e exterior que afectam a saúde e bem-estar (iluminação, qualidade do ar, materiais perigosos, radon, ruído interior, sistema de aquecimento de água)
Poluição	Poluição do ar (CO <sub>2</sub> , NOx, CFCx, HCFCs, Halogénios) e da água
Transporte	CO <sub>2</sub> relacionado com o transporte e factores relacionados com a localização
Utilização terreno	Terrenos virgens e terrenos abandonados
Ecologia	Valor ecológico do local
Materiais	Implicações ambientais dos materiais de construção
Água	Consumo de água e eficiência

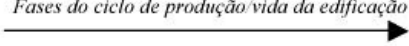
## Critérios de avaliação do LEED:

<b>Critério</b>	<b>Subcritério</b>	<b>Pontos<sup>2</sup></b>
Localização sustentável	Seleção do local, desenvolvimento urbano, recuperação de locais abandonados, transporte alternativo, redução da perturbação do local, gestão das águas da chuva, design exterior e da paisagem para reduzir ilhas de calor, redução da poluição visual.	14
Eficiência do consumo de água	Eficiente exploração de água, tecnologias inovadoras de tratamento de águas, tecnologias de redução do consumo de água.	5
Energia/atmosfera	Optimização do desempenho energético, energias renováveis, depleção da camada de ozono, medição e verificação, energias verdes.	17
Materiais/recursos	Reutilização de edifícios, gestão dos resíduos de construção e demolição, reutilização de recursos, conteúdo reciclado, materiais de origem local/regional, materiais rapidamente renováveis, madeiras certificadas.	13
Qualidade do ar interior	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), aumento da eficiência da ventilação, plano de gestão da qualidade do ar interior, materiais de baixa emissão, controlo das fontes de químicos e poluentes no interior, controlabilidade dos sistemas, conforto térmico, iluminação natural e acesso visual.	15
Inovação projecto	Inovação no projecto, profissionais acreditados pelo LEED <sup>TM</sup> .	5

# Critérios de avaliação do DGNB:

Hauptkriteriengruppe	Kriteriengruppe	Nr.	Kriterium
	Allgemeine Grundlagen	0	Allgemeine Grundlagen
Ökologische Qualität (Gewichtung 22,5 %)	Ökobilanz	1	Treibhauspotenzial (GWP)
		2	Ozonschichtzerstörungspotenzial (ODP)
		3	Ozonbildungspotenzial (POCP)
		4	Versauerungspotenzial (AP)
		5	Überdüngungspotenzial (EP)
	Wirkungen auf globale und lokale Umwelt	6	Risiken für die lokale Umwelt
		8	Sonstige Wirkungen auf die globale Umwelt
	Ressourceninanspruchnahme und Abfallaufkommen	10	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEne)
		11	Primärenergiebedarf erneuerbar (PEe)
		14	Trinkwasserverbrauch
Ökonomische Qualität (Gewichtung 22,5 %)	Lebenszykluskosten	16	gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus
	Wertentwicklung	17	Drittwertungsfähigkeit
Soziokulturelle und funktionale Qualität (Gewichtung 22,5 %)	Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit	18	Thermischer Komfort im Winter
		19	Thermischer Komfort im Sommer
		20	Innenraumluftqualität
		21	Akustischer Komfort
		22	Visueller Komfort
		23	Einflussnahme des Nutzers
		24	Gebäudebezogene Außenraumqualität
		25	Sicherheit und Störfallrisiken
	Funktionalität	26	Barrierefreiheit
		27	Flächeneffizienz
		28	Umnutzungsfähigkeit
		29	Öffentliche Zugänglichkeit
Technische Qualität (Gewichtung 22,5 %)	Qualität der technischen Ausführung	30	Fahrradkomfort
		31	Sicherung der gestalterischen und städtebaulichen Qualität im Wettbewerb
		32	Kunst am Bau
		33	Brandschutz
		34	Schallschutz
Prozessqualität (Gewichtung 10,0 %)	Qualität der Bewirtschaftung	35	wärme- und feuchteschutztechnische Qualität der Gebäudehülle
		40	Reinigungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit des Baukörpers
		42	Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit
Standortqualität	Standortqualität	52	Strategie und Controlling
		53	Qualität der Bewirtschaftung
		54	Systematisches Inst. Management
		55	Ressourcenmanagement
		56	Risiken am Mikrostandort
		57	Verhältnisse am Mikrostandort
		58	Image und Zustand von Standort und Quartier
		59	Verkehrsanbindung
		60	Nähe zu nutzungsrelevanten Objekten und Einrichtungen
		61	anliegende Medien/Erschließung

## Critérios de avaliação do HQE:

CICLOS DA METODOLOGIA HQE®	<i>Fases do ciclo de produção/vida da edificação</i> 	Elaboração do programa	Desenvolvimento do(s) projeto(s)	Definição dos métodos executivos	Execução da obra	Uso-operação e manutenção da edificação	Demolição
1 Relação harmoniosa com o entorno imediato	Avaliação das vantagens e desvantagens do contexto considerando a função do edifício, as necessidades dos usuários e as demandas da vizinhança	X	X				
	Leiaute que ofereça conforto e esteja em harmonia com o sistema de transporte		X				
2 Escolha integrada dos processos construtivos	Adaptabilidade e durabilidade da edificação	X	X				
	Escolha integrada dos sistemas construtivos		X		X		X
	Escolha dos materiais de construção			X	X		
3 Canteiro de baixo impacto ambiental	Preparação do canteiro limitando a produção de rejeitos e otimizando sua gestão			X			
	Gestão diferenciada e valorização dos resíduos no canteiro			X	X		
	Redução dos ruídos e da poluição				X		
	Gestão dos recursos – água e energia				X		
	Possibilidade de demolição que permita a reutilização dos materiais				X		
4 Gestão da energia	Redução do consumo de energia primária não renovável	X	X			X	
	Gestão da poluição	X	X			X	
5 Gestão da água	Economia da água potável	X	X			X	
	Gestão das águas pluviais	X	X				
	Gestão das águas usadas (águas cinza)		X				
6 Gestão dos rejeitos das atividades	Gestão da produção dos rejeitos					X	
	Adequação entre a coleta interna e a externa		X				
	Gestão da triagem (seleção) dos rejeitos	X	X			X	
	Otimização do sistema de coleta interna	X	X				
7 Gestão da manutenção e conservação	Otimização da necessidade de manutenção		X				
	Gestão dos efeitos negativos dos produtos e processos relacionados à manutenção		X		X	X	
	Facilidade de acesso para realização da manutenção e simplicidade nas operações		X				
	Adoção de equipamentos para manutenção do desempenho na fase de uso e operação			X		X	



CICLOS DA METODOLOGIA HQE®	Fases do ciclo de produção / vida da edificação →  Desdobramento dos ciclos do HQE®	Elaboração do programa	Desenvolvimento do(s) projeto(s)	Definição dos métodos executivos	Execução da obra	Uso–operação e manutenção da edificação	Demolição
8 Conforto higrotérmico	Criação de condições de conforto no inverno e meia-estação		X			X	
	Criação de condições de conforto no verão em edificações não climatizadas		X			X	
	Criação de condições de conforto no verão em edificações climatizadas					X	
9 Conforto acústico	Adoção de soluções que favoreçam o conforto acústico	X	X				
	Adoção de soluções que favoreçam o isolamento acústico		X	X			
	Adoção de soluções que favoreçam a correção acústica, onde necessária					X	
	Proteção contra o ruído dos usuários e vizinhos	X					
10 Conforto visual	Uso eficiente da iluminação natural, evitando os inconvenientes (ofuscamento)	X	X				
	Concepção de iluminação artificial que atenda às necessidades de conforto		X	X			
	Estabelecimento de uma relação visual satisfatória com o exterior	X	X				
	Concepção de iluminação artificial das zonas externas (acessos, calçadas) que sejam confortáveis e garantam a segurança dos usuários		X	X			
11 Conforto olfativo	Redução das fontes de odores desagradáveis			X			
	Limitação dos odores desagradáveis		X			X	
12 Qualidade sanitária dos espaços	Limitação das interferências entre os espaços interiores			X			
	Criação de boas condições de higiene, especialmente para os equipamentos coletivos					X	
13 Qualidade sanitária do ar	Gestão das fontes de poluição		X	X			
	Limitação dos efeitos dos poluentes aéreos na saúde	X	X			X	
14 Qualidade sanitária da água	Adoção de soluções que favoreçam a qualidade da água destinada ao consumo humano fornecida pelo sistema predial			X		X	
	Adoção de soluções que permitam o controle do acesso aos reservatórios de distribuição da água					X	
	Gestão da qualidade da água que não seja proveniente de uma rede de distribuição de água potável					X	



## ANEXO IV

### ÖKOBAU.DAT

Esta base de dados alemã é pública e gratuita, e serve de base para ACV e outro tipo de análises que pretendam avaliar o desempenho ambiental de edificações e materiais. Consiste em cerca de 950 folhas de dados, desde matérias de construção a processos de construção e transporte. A base de dados organiza-se nas seguintes categorias: minerais, isolamentos, produtos de madeira, metais, revestimentos e vedantes, produtos plásticos, componentes de janelas, portas e fachadas cortinas, técnicas de construção, entre outros. Cada registo tem também, para além dos valores ecológicos, informações acerca de: fonte dos dados, unidade de trabalho, validade, qualidade, etc.. Os dados são em formato XML, e podem ser obtidos a partir de uma ligação à internet, após o utilizador instalar uma pasta específica. A Ökobau.dat foi desenvolvida no âmbito de um projeto de investigação chamada ZukunftsBau pela PE International GmbH com apoio da indústria de construção alemã. A última revisão da base de dados foi feita em 2011 e encontra-se disponível em:

<http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html>

Para a instalação da base de dados é preciso seguir os seguintes passos:

- 1.) Fazer Download do ficheiro Zip para o computador.
- 2.) Extrair os dados para uma pasta à escolha dentro do computador.
- 3.) Para visualizar os dados seleciona-se o material desejado clicando em cima do ficheiro XML correspondente. Exemplo: Pasta\Ökobaudat\_2011\_12\_v03 - 21\_03\_2012\Ökobaudat\_2011\_v03-21\_03\_2012\Ökobau.dat2011\processes\_renamed\1.1.01\_Zement\_(Durchschnitt).xml

Deve ser utilizado o Internet Explorer para a visualização correta dos dados.

## ANEXO V

### Síntese do CIRCOS:

#### Applying Circos to Visualizing Tables using a Circular Layout

